

**YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DARBE YÜKLERİ
ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Murat ÖZENÇ

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

**Haziran, 2007
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

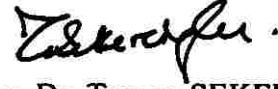
Murat ÖZENÇ tarafından Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU yönetiminde hazırlanan “**Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yükleri Altındaki Davranışlarının İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Mustafa BOZDEMİR
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Jüri Üyesi (Danışman)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun .../.../.....
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı

:

Murat ÖZENÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ortaya konulan ve açıklanan bilgilerin okuyuculara ve kullanıcılara yararlı olması en büyük temennimdir.

Bu konunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanmasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOğLU' na teşekkür ederim.

Özellikle bana hep moral ve g veren, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme minnettarım.

ÖZET

YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DARBE YÜKLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Özenç, Murat

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

Haziran 2007, 59 Sayfa

Malzemeler; cıvata, perçin, kaynak, lehimleme, yapıştırma gibi değişik metotlar kullanılarak birleştirilebilmektedir. Bu metotlardan yapıştırma bağlantılarının günümüz endüstrisinde kullanımı hızla artmaktadır. Yapıştırma bağlantıları ile birleştirmelerde hafiflik sağlanmakta, farklı özelliklerdeki ve kalınlıklardaki malzemeler birleştirilebilmekte, düzgün bir gerilme dağılımı elde edilebilmekte ve daha ekonomik birleşimler meydana getirilebilmektedir. Bu avantajları nedeniyle yapıştırma bağlantıları diğer mekanik birleştirme yöntemlerine alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır.

Yapılan bu çalışmada; tek taraflı bindirme bağlantılarının, değişik yüzey pürüzlülüklerinde ($R_a=0,5-1,5-2,5\mu m$), farklı yapıştırma kalınlıklarında ($s=0,1-0,3-0,5mm$) ve farklı malzemeler kullanarak (çelik, alüminyum, bakır) darbe dirençlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Deney numuneleri ASTM D950-03 standardına bağlı olarak imal edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda; her bir parametrenin darbe direncini etkilediği görülmüş ve her parametre için optimum darbe dayanımını veren değerler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Darbe yükü, Yapıştırma bağlantı birleştirmeleri

Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ
Yrd. Doç. Dr. Mustafa BOZDEMİR
Yrd. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

ABSTRACT**AN INVESTIGATION OF ADHESIVELY BONDED JOINTS BEHAVIOR
UNDER IMPACT LOADS**

Ozenc, Murat

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tezcan SEKERCIOGLU

June 2007, 59 Pages

The materials can be connected by welding, soldering, using rivets, bolts or adhesives. In today's industries usage of adhesive bonding joints has been rapidly spreading. The adhesively bonded joints provide some advantages such as joining of different thickness materials, joining of different type materials, lighter constructions, more uniform stress distribution. Because of these advantages adhesive bonding joints were started to be used as an alternative to the other bonding methods.

In this study; the variation of impact resistances of single lap joints with different average surface roughness (0,5–1,5–2,5 μ m), different adhesive thickness (0,1–0,3–0,5mm) and different adherent materials (steel, aluminum, copper) were investigated. This samples were prepared according to ASTM D950–03. At the and of the experimental studies, it was observed that each of the parameters affects the impact resistance and an optimum value of impact resistance for each parameter value was determined.

Keywords: Impact load, Adhesively bonded joints

Prof. Dr. Alper GULSOZ

Asst. Prof. Dr. Mustafa BOZDEMIR

Asst. Prof. Dr. Tezcan SEKERCIOGLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU	i
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Bilgisi.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	10
2. YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRMANIN TEMEL KAVRAMLARI.....	11
2.1. Yapıştırma İşlemi.....	11
2.2. Yapıştırma Etkileyen Faktörler.....	12
2.3. Yapıştırma Geometrisi.....	13
2.4. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri.....	14
2.5. Yapıştırıcıların Kullanım Yerleri.....	17
2.6. Yapıştırmanın Avantajları.....	20
2.7. Yapıştırmanın Dezavantajları.....	21
3. YAPIŞTIRICI ÇEŞİTLERİ.....	22
3.1. Akrilikler.....	22
3.2. Anaerobikler.....	23
3.3. Siyanoakrilatlar.....	23
3.4. Modifiye Edilmiş Fenolikler.....	24
3.5. Poliüretanlar.....	24
3.6. Epoksiler.....	25
3.6.1. Epoksi reçineleri.....	25
3.6.2. Epoksi yapıştırıcıları.....	27
3.6.2.1. Epoksi-polisülfid yapıştırıcısı.....	28
3.6.2.2. Epoksi-fenolik yapıştırıcısı.....	28
3.6.2.3. Epoksi-poliamid yapıştırıcısı.....	29
3.6.2.4. Epoksi-naylon yapıştırıcısı.....	29
4. DARBE YÜKÜ, YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA DARBE YÜKÜNÜN ÖNEMİ VE TEST YÖNTEMLERİ.....	30
4.1. Darbenin Tanımı.....	30
4.2. Sünek ve Gevrek Malzemelerin Darbe Davranışı.....	31
4.3. Yapıştırma Bağlantılarında Darbe Yükünün Önemi.....	31
4.4. Yapıştırıcıların ve Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Testleri İçin Kullanılan Deneysel Yöntemler.....	32
4.4.1. Sarkaç testi (Pendulum test).....	32
4.4.2. Ağırlık düşürme testi (Drop-weight tester).....	34
4.4.3. Split-Hopkinson çubuğu (Kolsky bar).....	35
5. MATERYAL VE METOT.....	36
5.1. Deneysel Düzenek.....	36

5.2. Yükleme Durumu.....	36
5.3. Deney Numuneleri.....	37
5.4. Deneylerde Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri.....	39
5.5. Yapıştırma İşlemi.....	40
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Darbe Dayanımına Etkisi.....	42
6.2. Yapıştırma Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi.....	47
6.3. Yapıştırılan Malzemenin Darbe Dayanımına Etkisi.....	51
7. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Adhezyon ve kohezyon olayları.....	11
Şekil 2.2 Yapıştırma bağlantı geometrileri.....	14
Şekil 2.3 Temel hasar tipleri	15
Şekil 2.4 Bağlantıda meydana gelen adhezyon hasarı.....	16
Şekil 2.5 Bağlantıda meydana gelen kohezyon hasarı.....	17
Şekil 2.6 Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınması.....	18
Şekil 2.7 Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar.....	18
Şekil 2.8 Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı.....	19
Şekil 2.9 Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı.....	19
Şekil 2.10 Uçaklarda yapıştırıcının kullanıldığı bölgeler.....	20
Şekil 4.1 Yük-çökme eğrisi.....	30
Şekil 4.2 Sünek ve gevrek malzemelerin yük-zaman eğrileri.....	31
Şekil 4.3 Deney numunesinin çentik (izod) darbe cihazına bağlanması.....	32
Şekil 4.4 Sarkaç tipi darbe uygulamalı kamalı deney düzeneği.....	33
Şekil 4.5 Ağırlık düşürerek eğilme momenti uygulanması.....	34
Şekil 4.6 Darbe çeki yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısı.....	34
Şekil 4.7 Split-Hopkinson basınç çubuk test sistemi.....	35
Şekil 5.1 Deneysel olarak kullanılan Izod darbe cihazı.....	36
Şekil 5.2 Deney numunesinin çentik (izod) darbe test cihazına bağlanması.....	37
Şekil 5.3 Deney numunelerinin boyutları.....	38
Şekil 5.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	39
Şekil 5.5 Ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait değerler ve grafikler.....	40
Şekil 5.6 Yapıştırılmış deney numuneleri.....	41
Şekil 6.1 Çelik numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	43
Şekil 6.2 Çelik numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	43
Şekil 6.3 Çelik numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	44
Şekil 6.4 Alüminyum numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	44
Şekil 6.5 Alüminyum numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	44
Şekil 6.6 Alüminyum numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	45
Şekil 6.7 Bakır numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	45
Şekil 6.8 Bakır numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	45
Şekil 6.9 Bakır numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	46
Şekil 6.10 Çelik numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi.....	46
Şekil 6.11 Alüminyum numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi.....	46
Şekil 6.12 Bakır numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi.....	47

Şekil 6.13 Alüminyum numunelerde $s = 0,1$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları.....	48
Şekil 6.14 Alüminyum numunelerde $s=0,3$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları.....	48
Şekil 6.15 Alüminyum numunelerde $s=0,5$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları.....	49
Şekil 6.16 Bakır numunelerde $s = 0,1$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları...	49
Şekil 6.17 Bakır numunelerde $s = 0,3$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları...	49
Şekil 6.18 Bakır numunelerde $s = 0,5$ mm kalınlık değeri için deney sonuçları...	50
Şekil 6.19 Alüminyum malzeme için yapıştırma kalınlığının darbe direncine etkisi.....	50
Şekil 6.20 Bakır malzeme için yapıştırma kalınlığının darbe direncine etkisi....	50
Şekil 6.21 $R_a=0,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki.....	51
Şekil 6.22 $R_a=1,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki.....	52
Şekil 6.23 $R_a=2,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki.....	52

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	23
Tablo 3.2 Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	23
Tablo 3.3 Fenolik reçineler için ticari örnekler.....	24
Tablo 3.4 Poliüretanlar için ticari örnekler.....	24
Tablo 3.5 Epoksi reçinelerinde kullanılan sertleştiriciler.....	26
Tablo 3.6 Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	28
Tablo 5.1 Loctite 3421'in fiziksel ve mekanik özellikleri.....	40
Tablo 6.1 Yüzey pürüzlülüğü etkisinin tespitinde uygulanan deney şartları.....	43
Tablo 6.2 Yapıştırma kalınlığı etkisinin tespitinde uygulanan deney şartları	48

KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
DCB	Double Cantilever Beam
EN	European Norm
ISO	International Standards Organisation
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu
SMC	Sheet Moulding Compound
TS	Türk Standardı
XBNR	Carboxylated Acrylonitrile Butadiene
s	Yapıştırma Kalınlığı, (mm)
R _a	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (µm)

1. GİRİŞ

Eskiden olduğu gibi bugünde malzemeleri birbirine eklemek, birleştirmek ve onları bir bütün olarak kullanım süreleri içerisinde bir arada tutmak maksadıyla birçok malzeme ve teknik kullanılmaktadır. Bunların arasında cıvata, perçin gibi elemanlar, kaynak lehim gibi teknikler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerden daha pratik ve kullanımı daha basit olan yapıştırıcı ile birleştirme tekniği bulunmaktadır. Yapıştırıcı teknolojisindeki gelişmelerden dolayı yapıştırıcı ile bağlama tekniği birçok mühendislik alanında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer geleneksel metotlara (kaynak, perçin bağlantıları vs.) göre sahip olduğu avantajlardan dolayı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar birçok araştırmacı tarafından analitik, sonlu elemanlar metodu ve deneysel olarak statik durumlar için incelenmiş olup araştırmalar devam etmektedir. Dinamik durumlardaki davranışları üzerine yapılan çalışmalarda gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle uzay, uçak ve makine konstrüksiyonlarında dinamik yükler altında kullanılmaları, bu çalışmalar açısından önem kazanmaktadır.

Sanayide özellikle havacılık endüstrisinin öncülüğünde 1940'lerden günümüze hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerde hızlı gelişmeler meydana gelmiştir. Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde özellikle son 15 yılda önemli atılımlar gerçekleştirilmiştir. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur. Kompozit malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim, yapısal elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkmasını, dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden uzaklaşmasını zorunlu hale getirmiştir.

Farklı malzeme, kompozit ve plastiklerin birleştirilmesinde tercih edildiklerinden birleştirme yöntemi olarak yapıştırıcıların kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Yapıştırma; kaynak, lehim, perçin vs. yanında endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya başlandığından beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır.

1.1. Literatür Bilgisi

Kinloch (1987) tarafından hazırlanan “ Adhezyon ve Yapıştırıcılar” adlı yayında, adhezyon olayının açıklanmasında kullanılan teoriler incelenerek, adhezyon olayını tek

bir teori ile açıklamanın yeterli olmadığı sonucuna varılmış, teorilerden birkaçının bir araya gelmesi ile oluştuğu belirtilmiştir. Yapıştırma yüzeylerinin hazırlanması ve yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilerek servis ömürleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Kinloch (1997) tarafından hazırlanan “Mühendislikte Yapıştırıcılar” adlı yayında, yapıştırıcıların kullanımlarındaki gelişmeler, otomotiv sanayisindeki ve uçak sanayisindeki kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve kullanımını kısıtlayan faktörler vurgulanmış, konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş adhezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) olayları açıklanmaya çalışılmıştır. Soyulma kuvvetlerine maruz birleştirmelerdeki geometrinin etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çevre şartlarının yapıştırma bağlantısının nihai ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır.

Yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışının tespit edildiği farklı deneysel yöntemler olmasına rağmen, basit geometrileri, üretim proseslerinin kolay oluşundan dolayı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek taraflı bindirme bağlantılarının deneysel yöntemlerde kullanımı daha yaygındır (ASTM D1002, ISO 4587, ASTM D3165) ve birçok yapıştırma bağlantı modeli tek taraflı bindirme bağlantı geometrisi kullanılarak geliştirilmiştir (Andruet 1998).

Sawa vd (2000), çekme yüküne maruz farklı yapıştırılan malzemelerin yapıştırılması ile oluşturulmuş tek taraflı bindirme bağlantısını iki boyutlu elastisite teorisini kullanarak analiz etmişlerdir. Ara yüzeyde oluşan gerilme dağılımı üzerine, yapıştırılan malzeme kalınlığı, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modül farklarından oluşan etkileri analiz etmişlerdir. Yapıştırılan malzeme kalınlığı ve elastisite modülünün yapıştırmanın yapıldığı bölgenin serbest uçlarında oluşan gerilme dağılımları üzerine son derece büyük bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Sancaktar ve Simmons (2000), tek taraflı bindirme bağlantılarının dayanım ve deformasyon davranışı üzerine yapıştırılan malzemelerdeki oluşturulan çentiğin etkisini

incelemişlerdir. Önce sonlu elemanlar yöntemini kullanarak optimum çentik yeri, boyutları ve geometrisinin tespitini yapmışlardır. Bu parametrik çalışmalardan sonra daha detaylı sonlu elemanlar analiziyle bu verilerin farklı hasar kriterlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek için deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar çentikli numunelerin dayanımının, çentikli olmayanlardan, %29 daha fazla olduğunu göstermiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde ise pik gerilme değerinde %27'lik bir azalma olduğunu rapor etmişlerdir.

Özel vd (2003), farklı özelliklere sahip iki farklı yapıştırıcı kullanarak oluşturulmuş ve dört noktadan eğme yüküne maruz tek taraflı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Sayısal analizle, yapıştırılan malzeme kalınlığının bağlantı performansı üzerine son derece önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak alın yapıştırma bağlantılı delikli silindirik numunelerde gerilme dalga ilerlemesi, statik ve darbe yükü altında, elastik ve elasto-plastik deformasyon aralıklarında analiz edilmiştir. Darbe yükü olarak ağırlık düşürülmüştür. Yapıştırma ara yüzeyinde gerilme dalga ilerlemesine, yapıştırıcı kalınlığının ve young modülünün etkileri incelenmiştir. Bağlantıya darbe yükü uygulandığında, yapıştırıcının young modülünün artmasıyla gerilmenin maksimum değeri artmış, yapıştırıcının kalınlığının artmasıyla gerilmenin maksimum değeri azalmıştır. Statik yük uygulandığında ise, yapıştırıcının young modülünün azalmasıyla ve yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla gerilmenin maksimum değeri artmıştır (Sawa vd 2002a).

Sawa vd (2002b) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, tek taraflı bindirmeli bağlantılarda gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı elastik 3 boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Yapıştırılacak malzemenin young modülü, yapıştırma uzunluğu, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerin kalınlıklarının gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıştırıcının young modülünün artmasıyla maksimum gerilme değeri artmıştır. Yapıştırma uzunluğunun, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin kalınlıklarının artmasıyla gerilme değeri azalmıştır.

Higuchi vd (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, T şeklindeki alüminyum malzemenin epoksi yapıştırıcı kullanarak alından yapıştırılıp darbe eğilme momenti uygulanarak gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Ara yüzeydeki maksimum gerilme, malzemenin young modülünün artmasıyla artmıştır. Özel olarak, malzemede uygulanan yapıştırma uzunluğu flanş uzunluğuna eşit olduğunda, malzemenin young modülü azaldıkça ara yüzeydeki maksimum gerilme artmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığının azalmasıyla gerilme değeri artmıştır.

Deneysel ve nümerik olarak yapılan bir çalışmada, küçük şekil değiştirme oranları ile darbe eğilme momenti altında, tek taraflı yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımı ve elastik gerilme dalga ilerlemesi sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu gerilme değerlerine; yapıştırma uzunluğunun, yapıştırma kalınlığının, yapıştırılan malzemelerin kalınlığının ve young modülünün etkileri incelenmiştir. Yapıştırılan malzemenin young modülü ve yapıştırma uzunluğu artarken maksimum gerilmede artmıştır ama bu sonuçlar statik eğilme momenti sonuçları ile tezat oluşturmaktadır. Yapıştırılan malzeme kalınlığı artarken ve yapıştırıcı kalınlığı azalırken maksimum gerilme değeri artmıştır. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur (Higuchi vd 2002).

Yapılan bu deneysel çalışmada, numuneler; üç farklı yapıştırıcının beş farklı tabaka kalınlığında, üç farklı test hızıyla test edilmiştir. Yapıştırıcı davranışına test hızının etkisi, hangi yapıştırıcının daha çok enerji absorbe ettiği, yapıştırıcı kalınlığının darbe davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan test sonuçlarında silindirik çubuk malzemelerin darbe testlerine en uygun olduğu kanısına varılmıştır. Aynı test hızında ve uygulanan darbe enerjisi karşısında en fazla absorbe edilen enerji poliüretan yapıştırıcıda 0,5mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Epoksi için optimum kalınlık, en fazla enerji absorbe ettiği 0,25mm yapıştırma kalınlığı olarak bulunmuştur. Hava tabancası ile yapılan test sonuçlarında, 15J' lük darbe enerjisi uygulandığında epoksi uygulanan 0,1mm yapıştırma kalınlığında statik yük durumuna göre %90, ağırlık düşürme testine göre %35 daha fazla enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yüksek test hızlarında daha yüksek enerji absorbe edildiği sonucuna varılmıştır (Bezemer vd 1998).

Kompozitlerin yapıştırma bağlantıları üzerine yapılan bir çalışmada, iki kompozit (SMC) plaka epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek, statik ve yorulma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, statik kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum kesme kuvveti 0,33mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur. Bağlantının 10^6 yük tekrarındaki yorulma dayanımının, statik dayanımın %50 ile %54'ü arasında değiştiği bulunmuştur (Mazumdar ve Mallick 1998).

Alüminyum alaşımı plakalar epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve bağlantının statik ve yorulma mukavemeti, sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel çalışmalar yardımıyla incelenmiştir. Statik deneylerde 0,3mm yapıştırıcı kalınlığı, 0,1mm kalınlığa nazaran daha yüksek kopma kuvvetleri göstermiştir. Yorulma deneylerinde ise kalınlığın değişmesi, sürekli mukavemet değerlerini çok fazla değiştirmemiştir (Krenk vd 1996).

Yapıştırma boşluğu ile ilgili olarak verilen bir grafiğe göre, silindirik yapıştırma bağlantılarında, çaptaki boşluğun 0,05mm'ye kadar uygun olduğu belirtilmiş ayrıca 0,0–0,15 mm aralığı tavsiye edilmiştir. Bağlantının 0,3mm boşluktaki mukavemet değerleri, 0,05mm boşluğa göre % 50 oranında azalmaktadır (Loctite Corporation 1998).

Yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılan diğer bir çalışmada maksimum moment taşıma kapasitesi, yapıştırma boşluğu 0,05–0,15mm olan bağlantılarda elde edilmiştir. Yapıştırma boşluğu dolayısı ile yapıştırıcı kalınlığı yükseldikçe moment taşıma kapasitesi azalmıştır (Lee ve Lee 1996).

Aydın (2003) tarafından hazırlanan doktora tezinde, alüminyum alaşımli malzemelerin tek tesirli bindirme bağlantısında kullanılan, FM73 ve SBT 9244 yapıştırıcılarının bağlantıdaki performanslarını değerlendirmek amacıyla, yapıştırılan malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğunun bağlantı dayanımı üzerine etkisi farklı yükleme şartlarında (çekme ve dört noktadan eğme) deneysel olarak incelenmiştir. Her iki yapıştırıcı içinde çekme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı ve hasar yükünün yapıştırılan malzeme kalınlığına son derece bağımlı olduğu ve yük taşımada artışın olduğu tespit edilmiştir. Her iki yapıştırıcı için de çekme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı ve hasar yükü bindirme uzunluğundaki artışla artmıştır. FM73

kullanılarak hazırlanmış tek tesirli bindirme bağlantılarında yapılan dört noktadan eğme deney sonuçları, bindirme uzunluğunda meydana gelen artışın bağlantının taşıyabildiği yük miktarında dikkate değer bir artış meydana getirmediğini göstermiştir. SBT 9244 kullanılarak hazırlanmış tek tesirli bindirme bağlantılarında yapılan dört noktadan eğme deney sonuçları, bindirme uzunluğunun 12,5mm'den 25 ve 50mm'ye çıkarıldığında bağlantının taşıyabildiği yük miktarında sırasıyla 1,66 ve 2,4 kat artış olduğunu göstermiştir.

Aydın (2003) tarafından hazırlanan doktora tezinde, non-lineer sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, alüminyum alaşımlı malzemelerin tek tesirli bindirme bağlantısında, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak, iki farklı yükleme durumu için (çekme ve dört noktadan eğme) davranışları incelenmiştir. Her iki yükleme durumu için sonlu eleman analiziyle tahmin edilen hasar yükleri, deneysel çalışmalardan elde edilenlerle karşılaştırıldığında sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyumun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapıştırma ile birleştirilmiş olan kompozitler sık sık servis ve üretim esnasında darbe davranışlarına maruz kalır. Bu darbe etkisi, yapıştırma ile birleştirilmiş kompozit malzemelerden oluşturulmuş mühendislik parçalarının bütününde mukavemetini azaltıcı olarak etkilemektedir. Bu çalışmada, ağırlık düşürme darbe tekniği kullanılarak değişik enerji oranlarında (5-20J) grafit/epoksi malzemeler için darbe testi yapılmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığının darbe etkisi de araştırılmıştır. Deneylerde ultrasonik C-tarama metodu kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda; darbe sırasında, yapıştırma kalınlığının artması ile maksimum temas kuvvetine ulaşılmaktadır. Bunlara ek olarak; yapıştırma tabakalarında yapışmamış alanların ebadı ve şekli göstermiştir ki bu olay yapıştırma kalınlığı ve darbe enerjisine bağlıdır (Woldesenbet ve Aga 2007).

Yapılan bir deneysel çalışmada, sarkaç çekiç vasıtasıyla bindirme bağlantılı deney numunelerine darbe yükü uygulanmıştır. Bu bağlantılar statik ve dinamik yükler altında incelenmiştir. Deneylerde çelik numuneler epoksi yapıştırıcısı (Hysol 3425) ile birleştirilmiştir. Numuneler soyulma ve kayma darbe yükleri altında kırılarak, bindirme uzunluğunun, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme kalınlığının etkileri incelenmiştir. Ortalama kayma gerilmesi değerleri, yapıştırıcının kalınlığının ve yapıştırılan malzeme kalınlığının artmasıyla azalmıştır. Deneylerde dinamik yükler uygulandığında statik yüklere göre daha yüksek gerilme değerleri çıkmıştır (Goglio ve Rosetto 2007).

Pandey vd (1999), yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı tabakasının elastoviskoplastik davranışını dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlardır. Analizlerde yapıştırılan malzemelerin elastik davranış sergilediklerini varsayarken, yapıştırıcı tabakasının akma davranışında modifiye edilmiş Von-Mises akma kriterlerini kullanmışlardır. Sonuçta, bindirme uzunluğundaki artışla maksimum soyulma ve kayma gerilmelerinde azalmanın olduğunu ve gerilme dağılımları üzerinde sınır şartlarının son derece önemli etkisinin bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Apalak vd (2003), silindirik tek tesirli bindirme bağlantısı üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları çalışmada yapıştırıcı tabakasının serbest uçlarında ciddi gerilme yığılmaları ve bunun sonucu olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında dikkate değer deformasyonların oluştuğunu göstermişler ve aynı zamanda bindirme uzunluğundaki artışın, yapıştırıcı tabakasının pik gerilme değerlerinde düşüşe sebep olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yapıştırma bağlantılarında, bindirme uzunluğu boyunca, gerilmenin üniform olarak kalması yapıştırıcı kalınlığının kontrol altında tutulması ile sağlanabileceği, fakat dayanım değerlerinin optimum olabilmesi için yapıştırma boşluğunun sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Anaerobik yapıştırıcılar için yapıştırma boşluğu olarak 0,05–0,15mm aralığı önerilmektedir (Romanos 1999).

Yapıştırma alanının, bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada, yapıştırma alanı artırıldığında bağlantının kesme mukavemetinin önemli oranda azaldığı belirtilmiştir. Buna neden olarak da, küçük alanlarda olan deformasyon direncinin, büyük alanlarda olan deformasyon direncinden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür (Pfeiffer ve Shakal 1998).

Sawa ve Uchida (1997), tek taraflı bindirme bağlantılarında ara yüzeydeki kayma ve soyulma gerilmeleri üzerine yapıştırıcı tabakası kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, ara yüzeyde serbest uçlara yakın bölgede oluşan gerilmelerin yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla arttığını görmüşlerdir. Bu, ara yüzeyde oluşan gerilmelerin yapıştırıcı kalınlığının belirlenmesinde önemli rol oynadığı anlamına gelmektedir.

Kesme mukavemeti, yapıştırıcı kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki bağ kuvveti (adhezyon kuvvetleri), yapıştırıcının kendi içerisindeki bağ kuvvetlerinden (kohezyon kuvvetleri) daha fazladır. Sıcak yapıştırıcı olarak

kullanılan epoksi ile yapılan deneysel bir çalışmada 0,1–0,5mm yapıştırma boşluğu aralığında kesme mukavemetinde düşme gözlenmiştir. Optimum yapıştırma kalınlığı 0,05–0,15mm aralığı olarak elde edilmiştir. Çok ince yapıştırma kalınlıklarında ise yapıştırıcının bütün yüzeylere teması mümkün olmayabilir. Bunun için yapıştırma bağlantılarında yapıştırma alanının bütünüyle kullanılıp kullanılmadığı gözden kaçırılmamalıdır (Ciba 1999).

Liu ve Sawa (2000), eğilme momentine maruz yapıştırma bağlantılarında elastisite teorisini kullanarak gerilme analizi yapan bir formülasyon geliştirmişler ve bağlantının dayanımını tam olarak tahmin edebilmek için sonlu elemanlar yöntemiyle elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Sonuçta yapıştırılan malzemelerin elastisite modülü arttıkça bağlantı dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Kihara vd (2003) tarafından yapılan deneysel ve nümerik bir çalışmada, darbe altında yapıştırma tabakalarındaki kayma gerilmelerini ölçmeyi kolaylaştırmak amacıyla deneysel ekipmanlar geliştirilmiştir. Yapıştırılacak malzemeler bir hegzagonal prizma ve üzerinde gerilme gideren yarık bulunan iki adet dikdörtgen plakadan oluşmaktadır. Sonlu elemanlar metoduyla elde edilen sonuçlar ile ekipmanlar ile elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da bağlantılardaki kırılma davranışı, meydana gelen gerilme dalgasının seviyesine bağlıdır.

Epibond 1590 A/B yapıştırıcısı modifiye edilerek, ara yapışma yüzeyini dayanıklı hale getirmek için küçük yüzdelerde yüksek moleküler ağırlıkta karboksilat akrilonitrik bütadin (XNBR) ilave edilerek yapılan bir çalışmada, statik ve dinamik yükler altında 0%, 5%, 7,5% ve 10% XNBR oranlarında çalışılmıştır. Statik yük altında Mod I ve II kırılma dayanıklılığı ve dinamik yük altında ara yüzeyin darbe hasar alanı belirlenmiştir. Çalışmada en iyi performans 7,5% XNBR oranında modifiye edilmiş Epibond 1590 A/B ile elde edilmiştir (Kumar vd 2005).

Yapıştırma bağlantısı hazırlanırken uygulanan yüzey hazırlama yöntemi, ısıtma ve soğutma oranı, birleştirme işlemi süresince uygulanan basınç, erime ve yeniden kristalleşme sıcaklığında kalma süresi bağlantının dayanımı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki fark yukarıda bahsedilen özelliklerle birleşince yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde artık gerilme oluşumuna neden olur. Ara yüzeydeki iç gerilmelerin varlığı

yapıştırma bağlantısının performansı üzerinde farklı etkiler oluşturabilir (Ramani ve Zhao 1997).

Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerektiği, çok parlak yüzeylerde pürüzlülüğün kama etkisinin ortadan kalktığı ve yüzey pürüzlülüğünün $R_a=0,8-3,2\mu\text{m}$ aralığında olması gerektiği belirtilmiştir (Loctite Corporation 1998).

Kwon ve Lee (2000) tarafından epoksi yapıştırıcı ile çelik silindirik malzemeler yapıştırılarak burulma yorulmasına tabi tutulmuşlardır. Deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırma kalınlığının yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir. $R_a=0,56-5\mu\text{m}$ aralığında yapılan deneylerde, maksimum yorulma dayanımı (statik kesme kuvvetinin %15' i kadar yüklenmesi durumunda) $R_a=3\mu\text{m}$ ve 0,17mm yapıştırıcı kalınlığı için bulunmuştur. Araştırma sonucunda, ortalama gerilmenin hem yüzey pürüzlülüğüne hem de yapıştırıcı kalınlığına çok bağımlı olduğu, yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça gerilme değerinin düştüğü belirtilmiştir. Bağlantı dizayn aşamasında iken, yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırma kalınlığının çok dikkatli bir şekilde göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır.

Lee ve Lee (1997) tarafından yapılan bir çalışmada yüzey pürüzlülüğü $R_a=2\mu\text{m}$ olan çelik/kompozit bağlantısında yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılmış, yapıştırma boşluğu 0,1-0,2mm olan bağlantılarda maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

George vd (1998) tarafından anaerobik yapıştırıcı kullanılarak üç farklı malzeme yapıştırılmış, sertleşme prosesleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Alüminyum malzemenin yapıştırılmasındaki sertleşme süresi, paslanmaz çelik ve bakır malzemelerinkinden daha yüksek bulunmuştur. En reaktif yüzeyin bakır olduğu belirtilmiştir. En yüksek mukavemet değeri de bakırda bulunmuştur. Ayrıca reaksiyon hızının çok fazla olması durumunda, yapıştırıcının gevrek bir yapı alabileceği özellikle vurgulanarak, sıcaklıkla birlikte kontrol altında tutulması gerektiği ifade edilmiştir.

Wang vd (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, kamalı darbe metodu kullanılarak 2m/s ve 3m/s test hızlarında yapısal yapıştırıcıların kırılma dirençleri ölçülmüştür. Deneylerde çelik ve alüminyum alaşımlı malzemeler servohidrolik test cihazında -40°C ve 23°C sıcaklıkta test edilmiştir. Deney sonuçlarında oluşan çatlağın düzenli ve düzenli olmayan bir şekilde ilerlediği ve her iki durumda da kohesiv bir hasarın oluştuğu

gözlemlenmiştir. Yapıştırıcıların, kamalı darbe testi sonuçlarında elde edilen kırılma enerjileri, belirlenmiş olan kırılma mekaniği yaklaşımları ile ilişkili değerler çıkmıştır. Deneysel şartlar sonlu elemanlar analizi ile modellenerek, deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Wong vd (2004) tarafından yapılan bir çalışmada; sonlu elemanlar metodu kullanılarak elektronik devrelerin model analizi tanımlanmaya çalışılmış ve doğal vibrasyon frekansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, iletken yapıştırıcı serileri formüle edilerek onların dinamik özellikleri ve darbe performansları çalışılmıştır. Yüksek sönümlenme özelliğine sahip iletken yapıştırıcı malzemeler sonlu elemanlar analizi kullanılarak vibrasyon frekansı aralığında yüksek darbe performansı göstermiştir.

Bagheri ve Marouf (2007) tarafından yapılan araştırmada; alüminyum tabakalar epoksi yapıştırıcılar kullanılarak birbirleri ile birleştirilmiştir. Kullanılan bu yapıştırıcılar farklı kimyasal maddeler kullanılarak modifiye edilmiş ve bu yapıştırıcı kompozisyonunun ara yüzey kırılma enerjisi üzerine etkisi DCB (double cantilever beam) testi ile ölçülmüştür. Yapıştırıcının mekanik davranışları darbe testi ile belirlenmiştir. DCB testinin sonucunda; plastik parçacıklarının eklenmesi ile epoksinin ara yüzey kırılma enerjisi artmaktadır. Bu parametreleri SiC parçacıkları azaltmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; ASTM D950–3 standardına göre imal edilmiş tek taraflı bindirme bağlantılarında *yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırılan malzemenin ve yapıştırma kalınlığının* darbe dayanımını nasıl etkilediği deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatür taramasından da anlaşılacağı gibi yapıştırma bağlantılarıyla ilgili olarak yapılan araştırmaların çoğu; teorik ve deneysel olarak statik yüklemeler için yapılmıştır. Dinamik yüklemelerin etkisi deneysel olarak fazla incelenmemiştir. Yapılan bu deneysel çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

2. YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRMANIN TEMEL KAVRAMLARI

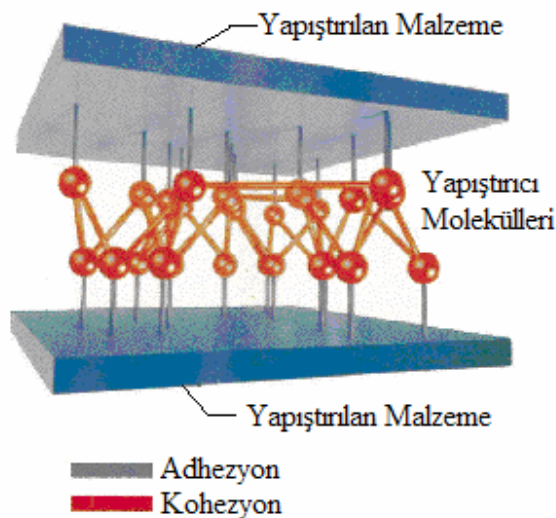
2.1. Yapışma İşlemi

Yapışma işlemi, yapıştırıcının kendi içinde ve yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda gerçekleşir. Bu olaylar adhezyon ve kohezyon olaylarıdır.

Adhezyon (Adhesion): Bu olay yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında meydana gelir. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri (valans kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır.

Literatürde (Adams vd 1997) adı geçen belli başlı adhezyon teorileri şunlardır;

- Mekanik kilitleme teorisi
- Difüzyon teorisi
- Fiziksel adsorbsiyon teorisi
- Elektrostatik teori
- Kimyasal yapışma teorisi
- Zayıf sınır tabaka teorisi



Şekil 2.1 Adhezyon ve kohezyon olayları (Loctite Corporation 1998)

Kohezyon (Cohesion): Bu olay yapıştırıcının kendi içerisinde meydana gelir. Yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin kimyasal (monomerler arasındaki bağ kuvvetleri) ve fiziksel kuvvetler (Van der Waals kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır. Bu olay yapıştırıcının polimerisasyon aşamasında meydana gelir. Adhezyon ve kohezyon olayları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.

2.2. Yapıştırma Etkileyen Faktörler

Bazı fiziki ve kimyasal faktörlerin etkisiyle, yapıştırıcı formülasyonunda yer alan yapıştırmadan sorumlu polimerik maddeler, yapışmayı sağlamaktadır. Aşağıda yapıştırmayı etkileyen faktörlerin en önemlileri yer almaktadır (Kaya 2004). Yapışmanın gerçekleşmesinde faktörlerden biri veya birden fazlası etkili olabilmektedir. Bir yapıştırıcı için etkili olan faktör diğeri için geçerli olmayabilir. Bu sebeple, yapıştırıcıların yapıştırma fonksiyonlarını yerine getirmesinde yapışmayı sağlayan polimerik madde kadar yapışmadan sorumlu olan fiziksel ve kimyasal faktörlerde önemlidir. Yapıştırmayı etkileyen faktörler;

Sıcaklık: Yapıştırıcıların çoğu oda sıcaklığında etkili olurlar. Ancak yüksek sıcaklıkla yapıştırıcı daha etken olur ve yapışma süresi kısalmır. Birçok kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sıcaklıkla reaksiyon hızında artış olur. Ancak sıcaklığın kontrolü yapılmalıdır. Aksi halde yapıştırıcıyı oluşturan polimerik maddenin bozunması ihtimaliyle karşılaşılır.

Basınç: Film ve bant halinde olan yapıştırıcılar kullanıldıkları zaman hem buldukları yerin şeklini almaları hem de yapışmalarını sağlamak amacıyla hafif bir baskı uygulanması etkin olmalarını sağlamaktadır. Basınç uygulaması yapışmanın kısa zamanda olmasını sağlar.

Zaman: Yapıştırıcının kuruyarak, pişerek etkin hale gelmesi için birkaç saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Geçen bu süre yapıştırıcının etkin olma süresidir. Bu süre basınç ve sıcaklıkla düşürülebilir.

Katalizör: Bazı yapıştırıcıların etkin olmaları için katalizör gibi reaksiyon artırıcı başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formülasyonda olması gerekir. Bu maksatla kullanılan kimyasal maddelerin her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek

yapışmayı sağlarlar. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörler büyük önem taşımaktadır.

Oksijen: Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijen olmadığı zaman gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklanabilirler.

Çözücü: Su veya organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, ortadan çözücü maddenin oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılması sonucu sağlar.

Nem ve Su: Poliüretan siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan nem veya tatbik edildikleri yerdeki su ve nem vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar.

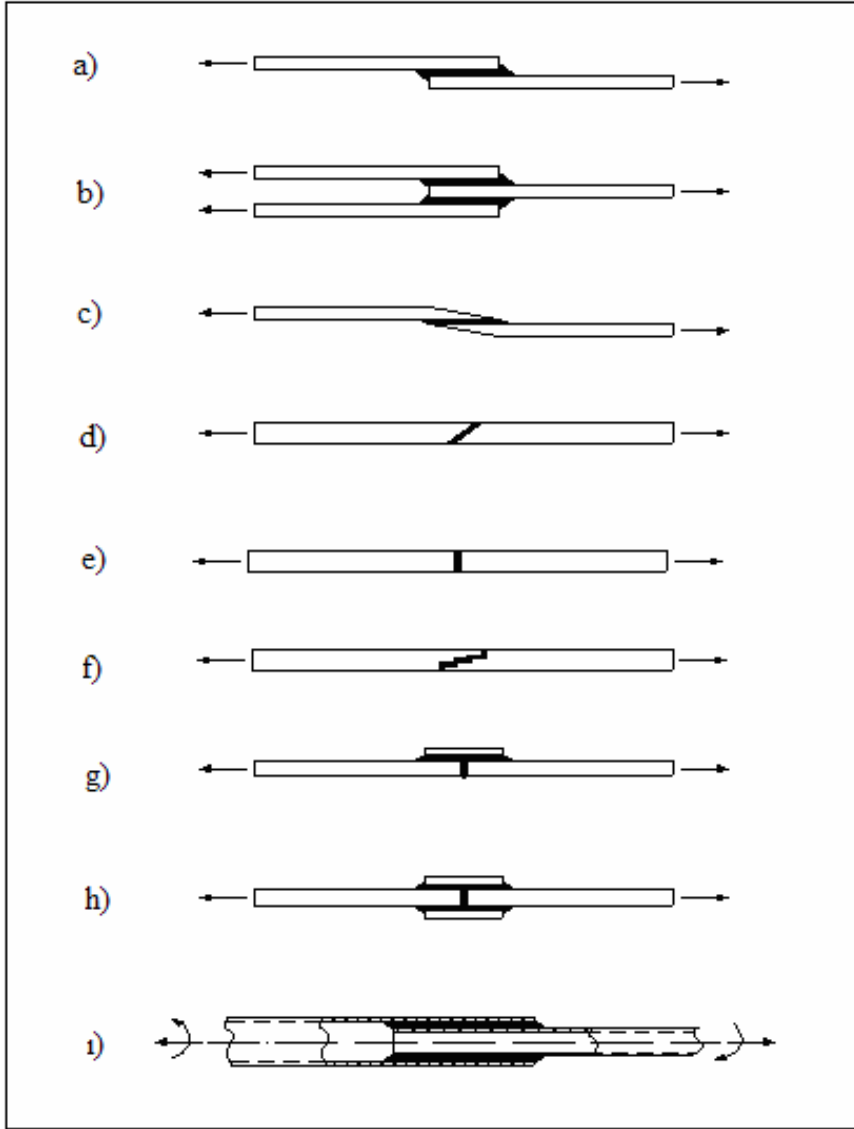
Ultraviyole Işıklar: Son zamanlarda geliştirilen bazı yapıştırıcılar ultraviyole ışıklardan etkilenecek yapışmayı sağlamaktadırlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviyole ışıkları ile kürleşmektedirler.

2.3. Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırma bağlantısının istenilen mekanik özellikleri taşıyabilmesi, bazı şartların yerine getirilmesi ile mümkün olur. Bunlar;

- Birleştirmenin konstrüksiyon içindeki konumu ve uygun yükleme durumu,
- Yapıştırılacak yüzeylerin uygun yüzey temizleme yöntemi ile temizlenmesi,
- Uygun yapıştırıcının seçimi ve uygulanması,
- Uygun yapıştırma bağlantı geometrisinin seçimidir.

Bir yapıştırma bağlantısı çekme, basma, kayma, soyulma veya tüm bu yükleme durumlarının kombinasyonu olarak yüklenebilir. Bu yüzden bir yapıştırma bağlantısı tasarımında bağlantının maruz kalacağı yük durumu mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve yapıştırıcı hangi yükleme durumu için maksimum performans sergiliyorsa o yükleme durumuna uygun bağlantı tipi seçilmelidir. Mühendislikte kullanılan yapıştırma bağlantı tiplerinden en yaygın olanları Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Yapıştırma bağlantı geometrileri (Adams 1989)

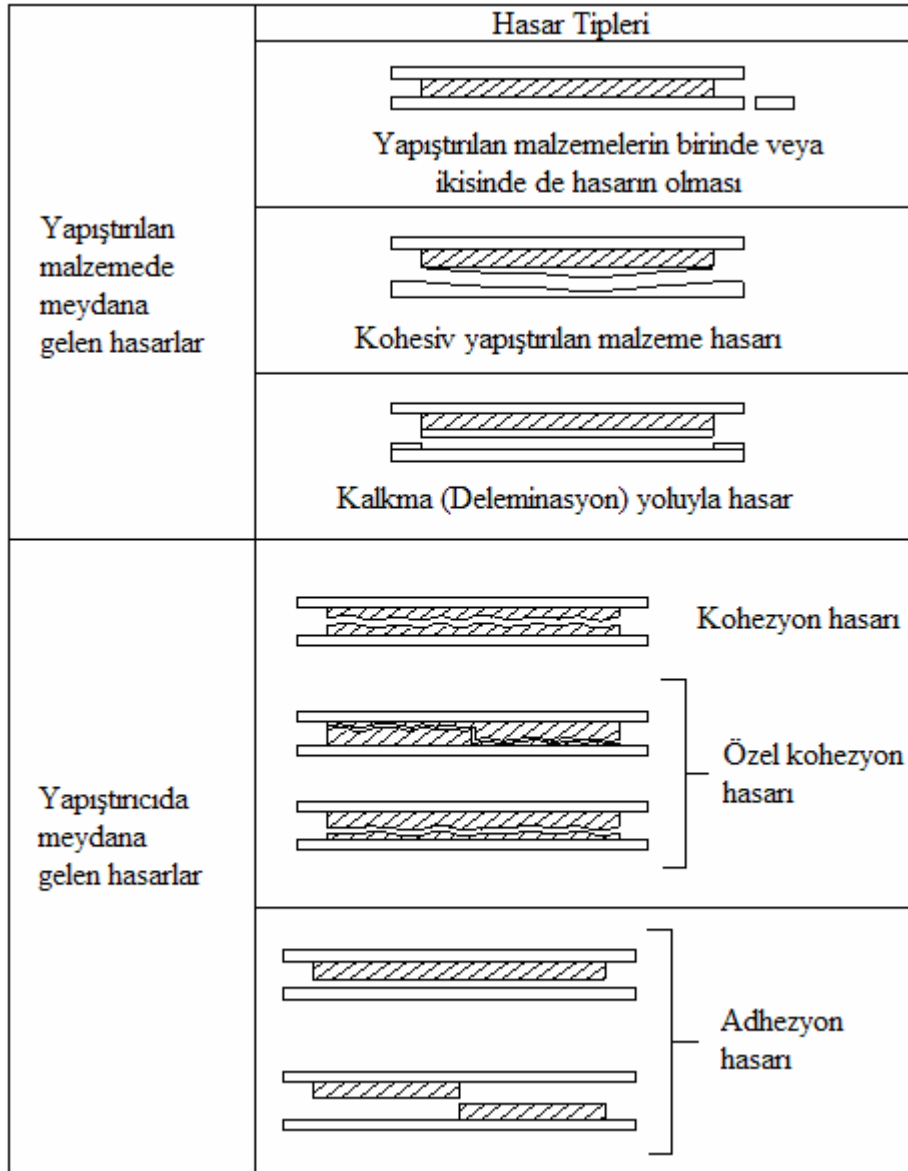
- | | |
|-------------------------------------|---|
| a) Tek taraflı bindirme bağlantısı | f) Kademeli bağlantı |
| b) Çift taraflı bindirme bağlantısı | g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| c) Pahlı bindirme bağlantısı | h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| d) Açılı bindirme bağlantısı | ı) Silindirik bindirmeli bağlantı |
| e) Alın bağlantısı | |

2.4. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri

Farklı yükleme şartlarında yapıştırma bağlantılarının veya yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için, hasar tiplerinin karakterize edilmesi gerekir. Bir grup malzeme veya parçanın yapıştırıcı ile bir araya getirildiği yapıştırma

bağlantılarında genel olarak iki tip hasar modeli ile (adhezyon ve kohezyon hasarları) karşılaştırılır (TS EN ISO 10365).

Temel hasar modelinin tayini bir yapıştırma bağlantısına uygulanan herhangi bir mekanik testin sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını ve hasar çeşitlerinin sınıflandırılmasını sağlar. Temel hasar tipleri Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Temel hasar tipleri (TS EN ISO 10365)

Adhezyon Hasarı: Yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme ara yüzeyinde gözle görülen bir ayrılmanın olduğu kopma olayıdır. Deney sonuçlarında alüminyum numunede karşılaşılan adhezyon hasarı Şekil 2.4’de verilmiştir

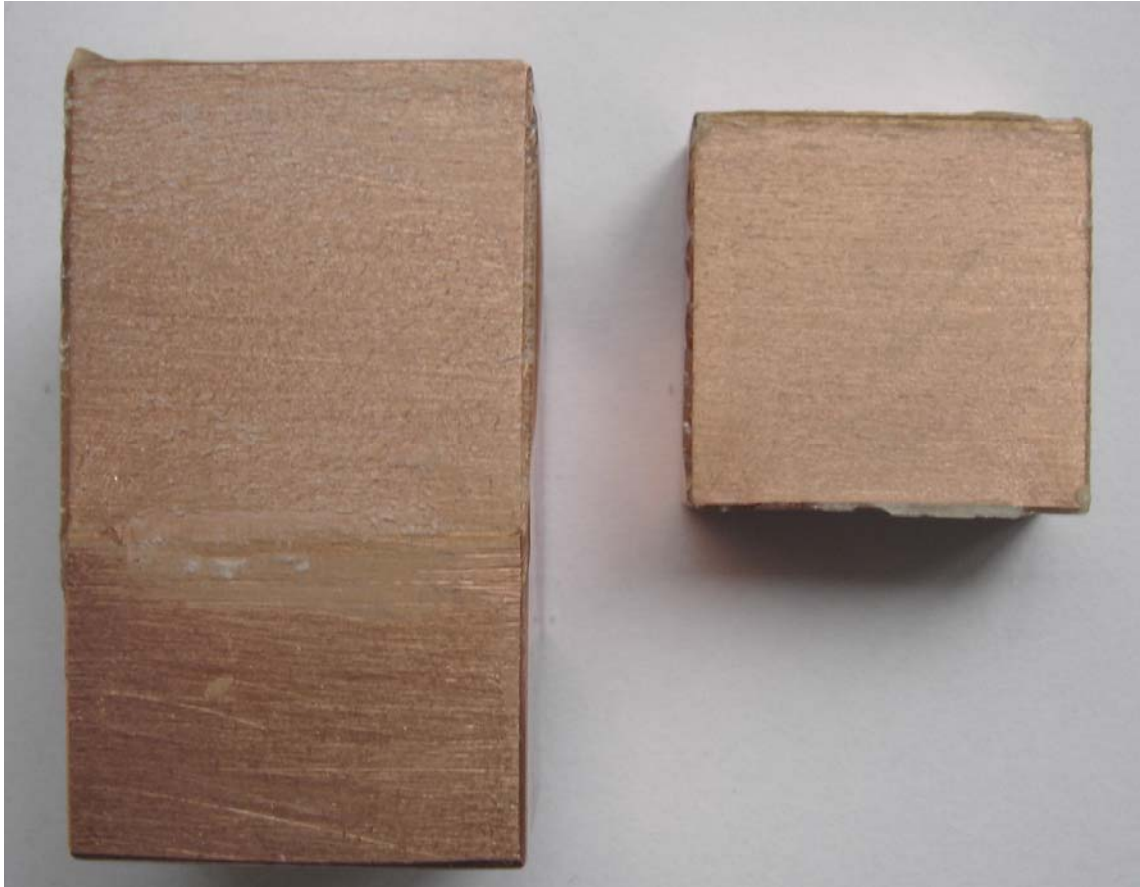


Şekil 2.4 Bağlantıda meydana gelen adhezyon hasarı

Adhezyon kopmasını önleyebilmek için;

- Uygun yapıştırma boşluğu, tolerans ve uygun malzeme seçilmelidir.
- Yüzeyler uygun temizleme yöntemleri ile temizlenmelidir.
- Sertleşme işleminin tam olarak gerçekleşip gerçekleşmediğinden emin olunmalıdır. Ortam sıcaklığı ve nem kontrol altında tutulmalıdır.
- Yüzey alanı genişletilmeli ya da uygun geometri ve kuvvet uygulanmalıdır.
- Çalışma sıcaklığına uygun yapıştırıcı seçilmelidir.

Kohezyon Hasarı: Bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı veya yapıştırılan malzemede gözle görülebilir hasarın olduğu kopma şeklidir. Kopma işlemi sonucunda artık yapıştırıcı genellikle her iki yüzeyde de bulunur. Deney sonuçlarında bakır numunede karşılaşılan kohezyon hasarı Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Bağlantıda meydana gelen kohezyon hasarı

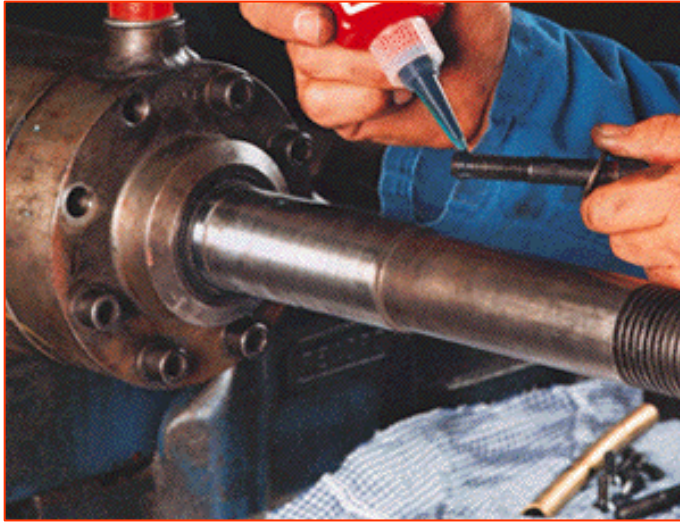
Normal şartlar altındaki yüklemelerde ve deneysel çalışmalarda, kohezyon kopmasının meydana gelmesi beklenir. Eğer adhezyon kopması meydana geliyorsa yapıştırma prosesinde bir yanlışlık yapılmış sonucuna varılabilir.

2.5. Yapıştırıcıların Kullanım Yerleri

Yapıştırıcıların özelliklerindeki gelişmelerden dolayı, metallerin yapıştırılmasında da büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Kaynak veya diğer metotlarla birleştirilmeleri mümkün olmayan iki farklı metalin yapıştırılması, metal-kompozit birleştirmeleri, otomotiv endüstrisinde şasi üretiminde punta kaynağı ile birlikte kullanılmaları, uzay ve uçak sanayisinde hafiflik için tasarlanan petek yapı ile dış cidarın birleştirilmesi, dişli kutuları ve motor gövde bloklarında sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır.

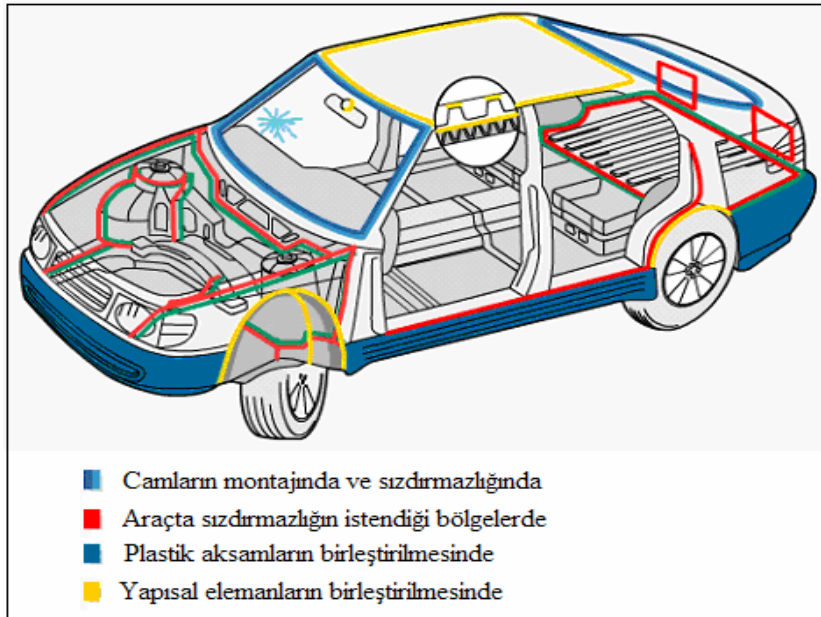
Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınmaları için yapıştırıcı kullanımı, diğer emniyete alma metotlarına (taçlı somun, tırtıklı somun vs.) nazaran daha ekonomik ve

pratik imkânlar sunmaktadır. Şekil 2.6’da bir makine elemanında cıvataları çözülmeye karşı emniyete almak için yapıştırıcı kullanılmaktadır.



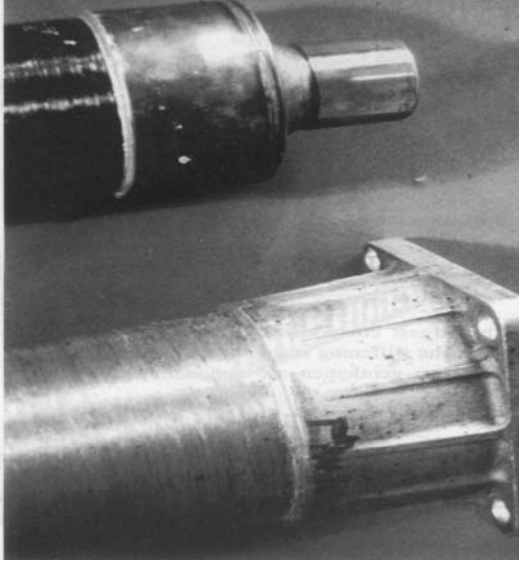
Şekil 2.6 Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınması (Loctite Corporation 1998)

Otomotiv endüstrisinde de yapıştırıcıların oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Mil göbek bağlantılarının emniyete alınmasında, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında sıvı conta olarak, kapı panellerinin oluşturulmasında ve birçok cam, plastik parçaların birleştirilmesinde yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de bir otomobilde yapıştırıcıların kullanım alanları gösterilmektedir.



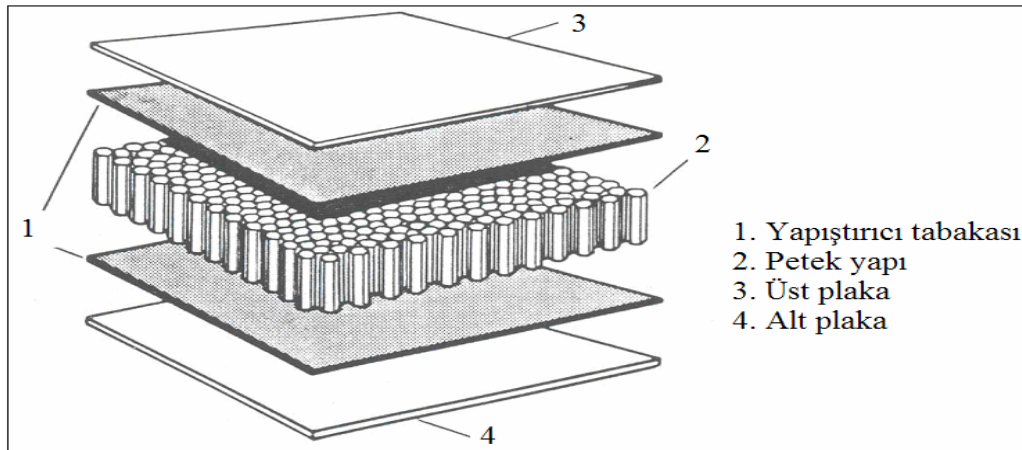
Şekil 2.7 Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar (WEB_1 2007)

Şekil 2.8’de Peugeot yarış arabalarında kullanılan tahrik mili ve bir yatak görülmektedir. Yarış arabalarının hafif olması istendiğinden milin bir kısmı kompozit malzemedir, uç kısmı ise metalik malzemedir, bunlar daha sonra yapıştırıcı ile birleştirilmiştir.



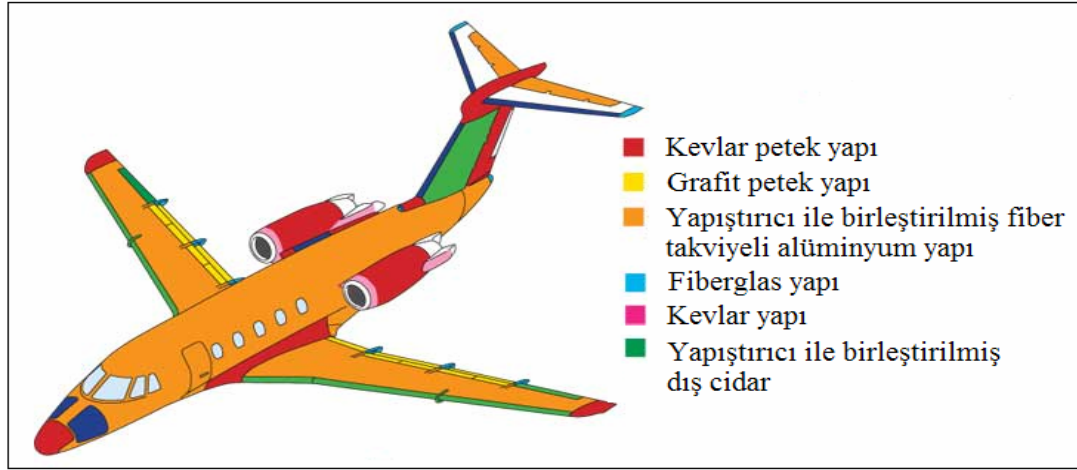
Şekil 2.8 Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı (Kinloch 1997)

Günümüzde yapıştırıcıların yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi de uzay ve uçak sanayisidir. Uçak gövdelerinde ve kanatlarında büyük miktarlarda yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Şekil 2.9’da uçak konstrüksiyonlarında kullanılan ve yapıştırıcı kullanılarak imal edilen sandviç yapı görülmektedir. Bu yapıda alt ve üst kısımdaki plakalar (genellikle alüminyum alaşımı), aradaki petek tipi yapıya, yapıştırıcı aracılığıyla birleştirilmektedir.



Şekil 2.9 Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı (ASM 1990)

Şekil 2. 10'dan da görüleceği üzere uçakların büyük bir kısmı kompozit yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılarda kullanılan petek dokulu sandviç yapılarda yapıştırıcılar ile birleştirme tekniği kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 Uçaklarda yapıştırıcının kullanıldığı bölgeler (WEB_1 2007)

2.6. Yapıştırmanın Avantajları

- Düzgün gerilme dağılımı ve daha büyük yük taşıma alanı temin edilmesi,
- Herhangi bir şekilde ince ve kalın malzemelerin birleştirilmesi,
- Benzer veya farklı malzemelerin birleştirilmesi,
- Yorulma ve tekrarlı yük dayanımı,
- Düzgün yüzeyli birleştirme olanağı,
- Değişik ortamlara karşı bağlantıda yalıtım olanağı sağlaması,
- Birçok teknolojiye kolaylıkla uygulanabilir olması,
- Isı ve elektrik iletkenliğine karşı yalıtkan olarak kullanılabilmesi,
- Yüksek darbe ve titreşim sönümlene kabiliyeti,
- Dikkat çekici dayanım/ağırlık oranı,
- Mekanik birleştirme yöntemlerinden daha kolay ve ucuz olması olarak sıralanabilir.

2.7. Yapıştırmanın Dezavantajları

- Parçaların birleştirilmesi zordur. Yüzey hazırlığı ve temizliği gerektirir.
- Yapıştırıcının mekanik özellikleri zaman ve sıcaklığa bağımlılık gösterir.
- Düşük soyulma dayanımı ve darbe dayanımı mevcuttur.
- Bağlantı ya da yapıştırıcının performansı ile ilgili verilerde eksiklikler vardır.
- Yapıştırma bağlantısının ömrü maruz kaldığı çevresel etkilere bağımlıdır.
- Kırılma mekanizması pratik olmayabilir.

3. YAPIŞTIRICI ÇEŞİTLERİ

Yapıştırıcı, malzemeleri bir arada tutan madde olarak tanımlanabilir. Yapıştırıcılar; sıvı, katı, macun, bant gibi birçok fiziksel şekilde olabilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Birleştirilecek elemanlara dayanım katarlar. Bu yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemcilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Yaklaşık 10 tipte yapıştırıcı bu gruba girmektedir. Önemli olanlar;

- Akrilikler
- Anaerobikler
- Siyanoakrilatlar
- Modifiye edilmiş fenolikler
- Poliüretanlar
- Epoksiler

3.1. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar genellikle daha az yüzey hazırlığını tolere edebilecek kimyasal içeriğe sahiptirler. Kayma dayanımları epoksiler kadar iyidir. Soyulma ve darbe dayanımları iyidir. Yüksek mukavemet ve sertlik istenen yerlerde kullanılırlar. Yapıştırma boşluğu 0,75mm'ye kadar olan yerlerde kullanılabilirler. Esnek bağlantı oluştururlar. Akrilikler iki bileşenli yapıştırıcılardır. Reçine yapıştırılacak yüzeylerden birine uygulanırken, diğer bileşen öbür yüzeye uygulanır. Yüzeylerin birleştirilmesinden hemen birkaç dakika sonrasında tutunma dayanımı sağlanır. Isı tesiri altında da sertleşme işlemi yapılabilir. Ticari örnek olarak Permabond Quickbond 5002, F246, F241, Vox vinil oksiran, Loctite 315, 322, 330, 3100 verilebilir.

3.2. Anaerobikler

En kolay uygulanabilen yapısal yapıştırıcılardan biridir. Yapışma işlemini oksijensizlik ya da havasızlık tetiklediğinden, vaktinden evvel işlem gerçekleşmez. Bu yapıştırıcılar akrilik polyeşter reçine esaslıdır. Yüksek kohesiv dayanım oluşturmalarına rağmen düşük yapıştırıcı dayanımına sahiptirler. Çapta 0,25mm boşluklara kadar kullanılmaktadır. Bazı firmalara ait anaerobik yapıştırıcılar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	638, 641, 648, 660, 222, 243, 366, 545
Loxeal	83-21, 12-36, 70-14, 70-90, 85-55, 26-18
Weicon	AN 302-21, AN 302-62, AN 305-86
Devcon	Retaining Compound 2609, 2680
Permabond	Perma-Lok A1042, A1044, A1046

3.3. Siyanoakrilatlar

Kolayca uygulanan ve çabuk yapışma işleminin gerçekleştiği yapıştırıcı çeşididir. Yapıştırılacak olan yüzeyler üzerinde bulunan nem ile reaksiyona girerek sertleşirler. Bazıları birkaç saniye içerisinde bağlantı dayanımı oluştururlar. Siyanoakrilatların en büyük avantajı plastiklerin kendileriyle veya diğer malzemeler ile birleştirilebilmesidir. Bu yapıştırıcılar düşük darbe dayanımına sahip olup neme ve kimyasal çözeltilere karşı oldukça hassastırlar. Küçük alanların birleştirilmesi için uygundur. Boşluk doldurma özellikleri iyi olmadığı gibi diğer yapıştırıcılara göre pahalıdır. Bazı firmalara ait siyanoakrilat yapıştırıcılar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	401, 406, 411, 454, 468, 480, 4210
Loxeal	ISTANT14, ISTANT17, ISTANT43
Weicon	VA1460, VA120, VM2000, VA300
Devcon	ZipGrip4404, ZipGripHV2200
Permabond	910, 2010, 792, 268

3.4. Modifiye Edilmiş Fenolikler

Fenol-formaldehit esaslıdır. Yüksek mukavemet gerektiren metal- metal, metal-ağaç, metal-kağıt, metal-kompozit esaslı fren pabucu yapıştırıcıları için oldukça iyidir. Sertleştiklerinde termoset halini alırlar. Sertleşmeleri için ısı ve basınç uygulamak gerekir. Sertleştiklerinde fenolik reçineler gevrek bir yapı elde edilir. Bunu önlemek için bileşimlerine epoksi, neopran, nitril kauçuk gibi malzemeler ilave edilir.

Aşındırıcı taşların, zımparaların yapıştırılmasında da kullanılır. Günümüzde uçakların dış yüzey kaplamasında ve uzay sanayisinde de kullanılmaktadır. Nem, yağ solvent ve hidro karbonlara karşı dirençleri yüksektir. Kesmeye zorlanan bindirme bağlantılarında mukavemet değerleri yüksektir. Bazı firmalara ait ticari örnekler Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Fenolik reçineler için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Union Carbide	Plyophen 5023
Reichold	Bakalite BV 9700
Hooker	Durez 16227
Ciba	Redux 775

3.5. Poliüretanlar

Poliüretan yapıştırıcılar, tek ya da iki bileşenli ve hızla sertleşen yapıştırıcılardır. Tek bileşenli olanlar, yüzey nemi ile reaksiyona girerek, çift bileşenli olanlar ise aktivatör yardımı ile polimerize olurlar. Yüksek kohezyon dayanımı ve darbe mukavemetine sahiptirler. Aşınmaya karşı dirençleri yüksektir. Bazı firmalara ait poliüretan örnekleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Poliüretanlar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3951, 5221
Bayer	Baydur, Bayflex, Desmocoll, Desmodur
BASF	Lumitol, Polyesteralkol, Elastophen
Hustman	Daltogel, Daltolac, Daltorez

3.6. Epoksiler

3.6.1. Epoksi reçineleri

Epoksi reçineleri birden fazla epoksi grubu içeren ve termoset ürünlere dönüşen ön polimerlerdir. Epoksi reçinesi sertleştirilmemiş haliyle viskoz sıvı veya kırılğan katı halde bulunan ve ısıtıldığında sıvı hale gelen bir polimerdir.

Kürleşmemiş sıvı haldeki epoksi reçineleri, epoksi içeriği, viskozitesi, rengi, hidrolize olabilen klor ve uçucu madde miktarıyla karakterize olmaktadır. Katı halde olan epoksi reçineleri, katı maddelerin erime sıcaklığı renk ve uçucu madde miktarı ile tanımlanmaktadır. Her iki durumda da epoksi miktarı en önemli özelliği arasında yer almaktadır.

Epoksi reçineleri kendi başlarına kullanılmazlar. Formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak veya çapraz bağlanarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde oluştururlar. Kimyasal reaksiyon sonucu elde edilen sert, geri dönüşü olmayan aşağıdaki özellikleri olan reçine meydana gelmektedir.

- Değişik yüzeylere mükemmel yapışma,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- İyi elektriksel özellikler,
- Pişerek sertleşme esnasında yan ürünlerin oluşmaması,
- Pişme sonucu büzülmenin oluşmaması,
- Boşluk doldurma özelliğine sahip olması,
- Alkali, asit ve çözücülere rutubete karşı dayanıklılık,
- Farklı malzemelerin yapıştırılması,
- Düşük sıcaklıklarda yük altında uzun süre kullanılması,

Bu sonuncu özelliği nedeni ile epoksi reçinesiyle yapılan yapıştırıcılar, metallere, ahşap, cam ve seramiğe kolayca yapışırlar. Çok asidik bir ortam olmadıkça kimyasallara karşı oldukça dayanıklılık gösteririler.

Epoksi yapıştırıcıları, sıvı halde iken kürleşerek sert, katı hale dönüşmektedirler. Kürleşme sırasında, termoplastik yapıdan termoset bir yapıya geçerler. Sertleştiriciler, polimerizasyon için ya bir katalizör ya da çapraz bağlama bileşimidir. Tablo 3.5 de epoksi reçinelerde kullanılan sertleştiriciler ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5 Epoksi reçinelerinde kullanılan sertleştiriciler

Sertleştirici	Kürleşme Süresi	Açıkta Kalma Süresi	Özellikleri
Aromatik Sulfonik Asit	2–5 dakika	1–2 dakika	Hemen sertleşme
Primer Aminler	2–4 saat	30 dakika	Oda sıcaklığında hızlı sertleşme
Poliamid	8 saat	4 saat	Oda sıcaklığında yavaş sertleşme
Aromatik Aminler	2 saat	12 saat	120°C de hızlı sertleşme, mükemmel ısı ve kimyasal direnç
Tersiyer Aminler	30 dakika	2–24 saat	120°C de hızlı kürleşme
Boron Tri Florür (Lewis Asidi)	4 saat	6 aya kadar	120°C de hızlı kürleşme, zayıf yapışma
Asid Anhidrit		1 hafta	150°C de yavaş kürleşme, yüksek sıcaklığa dayanım

Epoksi yapıştırıcılarının özellikle iki bileşenli olan yapıştırıcıların bileşenlerinden biri sertleştiricilerdir. Epoksi reçineleri sertleştirici ile yapıştırıcı kullanılacağı zaman karıştırılmaktadır. Sertleştirici ile reaksiyona giren epoksi reçinesi katılarak malzemelerin yapışmalarını sağlarlar.

Kullanılan sertleştiricinin cinsine bağlı olarak değişik özelliklerde yapıştırıcı elde edilmektedir. Epoksi yapıştırıcılarında sertleştiriciler reaktivitelerine bağlı olarak %50–%100 arasında kullanılırlar. Sertleştirici epoksi reçinesine karıştığı zaman reçine sertleşmeden önce yapıştırıcı kullanılmalıdır.

Epoksi reçinelerine katılan farklı özellikleri olan sertleştiricilerle açıkta kalma süresi farklı olan yapıştırıcılar elde edilir. Açıkta kalma süresi iki bileşenli yapıştırıcılarda sertleştirici katıldıktan sonra yapıştırıcının katılması için geçen süre olarak bilinmektedir.

Epoksi reçineleri, termoplastik ve termoset reçineleriyle karıştırılarak değişik özelliklere sahip yapıştırıcıların yapılmasında kullanılırlar. Epoksi reçinelerinin diğer reçinelerle yapmış olduğu iki polimerli yapıştırıcılar, hem epoksi yapıştırıcılarına daha geniş bir kullanım alanı sağlamakta hem de özel maksatlarda ve değişik şartlarda kullanılabilen yapıştırıcıların elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

3.6.2. Epoksi yapıştırıcıları

Değişik özelliklere sahip olan ve çok kuvvetli yapışma sağlayan epoksi yapıştırıcıları, yapıştırıcılar arasında en çok kullanım alanına sahip olan yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcıları, farklı malzemeleri ve yüzeyleri yapıştırmada çok etkindirler. Metaller, plastikler, ağaç, cam, seramik, beton ve benzeri malzemeler, epoksi yapıştırıcılarının yapıştırdığı malzemeler arasında bulunanların başlıcalarıdır. Bu kadar farklı özellikte olan malzemeleri ya kendilerine ya da başka malzemelere yapıştırmak, epoksi yapıştırıcılarının ıslatma, penetrasyon kabiliyetinden, düşük viskoziteli oluşlarından ve bünyesinde polar ve nonpolar grupları bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Polar ve nonpolar fonksiyonel grupların oluşu, farklı polaritede olan malzemelerin birbirlerine karşı olan çekiciliğini artırır. Metallerin plastiklere, betonun kauçuğa yapıştırılması epoksi yapıştırıcılarının polaritesiyle ilgili olan dikkate değer örneklerdir.

Epoksi yapıştırıcıları, uçaklarda otomobil endüstrisinde, elektrik ve elektronik sanayisinde, inşaat, gemi yapımında, ağaç, kâğıt, metallerin, seramik ve camın yapıştırılmasında kullanılmaktadırlar. Uçak sanayisinde alüminyum parçaların kendi içinde veya diğer metalik parçalara yapıştırılmasında, plastik maddeleri ve bu malzemelerden yapılmış petekleri yapıştırmada kullanılmaktadırlar. Otomotiv sanayisinde kaynak yerine ve birçok parçanın yapıştırılmasında, elektrik sanayisinde, elektrik motorlarının ve transformatörlerin laminasyonunda, basılı devrelerin kapsül içine alınmasında ve korunmasında, sıcaklık ve sarsıntı ile yerinden oynaması muhtemel parçaların tutturulmasında kullanılmaktadır. Bazı firmalara ait epoksi yapıştırıcılar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Epoksi yapıştırıcılarının kendi molekülleri arasındaki çekim gücü (kohezyon kuvveti) diğer yapıştırıcılara göre en kuvvetli olanıdır. Ancak epoksi yapıştırıcılarının

bu özeliği yapıştırıcıya katılan dolgu maddeleri ve modifiye edici maddelerle değişebilmektedir.

Tablo 3.6 Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3607, 3609, 3106, 3611, 3612, 3380
Loxal	31-10, 31-40, 34-15, 35-44, 36-10, 36-15
Weicon	WeiconA, WeiconC, WeiconSF, WeiconWR
Devcon	One-Minute Epoxy Gel, HP-250
Permabond	E04, E32, ESP110

3.6.2.1. Epoksi-polisülfite yapıştırıcısı

Polisülfite-epoksi karışımıyla elde edilen yapıştırıcının özellikleri polisülfite/epoksi oranına, kullanılan sertleştiriciye, dolgu maddesi ve diğer katkı maddelerine bağlı olarak değişmektedir. Formüle edilen yapıştırıcı genellikle sıvı haldedir ve yapıştırıcı oda sıcaklığında kurlaşmaktadır. İki bileşenli olarak hazırlanan yapıştırıcının kurlaşması oda sıcaklığında uzun zaman almaktadır. 20°C sıcaklıkta 24 saat olan kurlaşma süresi, sıcaklığın 100°C ye çıkmasıyla 15–20 dakikaya düşmektedir. Yapıştırıcı hava şartlarına, suya, hidrokarbon, alkol ve ketonlara karşı oldukça dayanıklıdır. Yapışma sonucu esnekliğin istendiği yerlerde kullanılmaktadır ancak normal epoksi yapıştırıcısına göre daha fazla büzülme meydana gelmektedir. Nemi emmesi ve bazı metallerde korozyona sebep olması, epoksi reçinesiyle yapılan yapıştırıcılara göre dezavantaj olarak görülmektedir.

3.6.2.2. Epoksi-fenolik yapıştırıcısı

Yapıştırıcılardan kullanım yerine göre yüksek sıcaklıklara karşı direnç sağlamaları ve daha uzun süre kullanılmaları istenmektedir. Bu maksada uygun olarak hazırlanan epoksi-fenolik yapıştırıcısı 60°C ve 260°C gibi bir sıcaklık aralığında kullanılmaktadır. Bu sıcaklık aralığında karışımın oldukça iyi mekanik özellikleri bulunmaktadır. Yapıştırıcının malzeme ile yaptığı yapışma kohezyon gücünden fazladır. Epoksi-fenolik yapıştırıcısı, uçak ve füze yapımı gibi yapısal tatbikatlarda kullanılmaktadır. Takviye edilmiş plastiklerin yapıştırılmasında ve yüksek sıcaklıklarda kullanılan seramik parçaların yapıştırılmasında oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Yapıştırıcının kurlaşması yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Epoksi-fenolik yapıştırıcıları, yüksek sıcaklıkta başarıyla kullanılmalarının aksine kriyojenik sistemlerde kırılındırlar ve

çatlamaktadırlar. Bu sebeple, düşük sıcaklıklarda kullanılmaları için formülasyonda değişiklik yapmak ve yapıştırıcının düşük sıcaklıktaki esnekliğini artırmak için ilave katkı maddeleri kullanmak gerekir.

3.6.2.3. Epoksi-poliamid yapıştırıcısı

Oda sıcaklığında iki bileşenli hazırlanan yapıştırıcıda, epoksi reçinesine katılan poliamid miktarının artması, yapıştırıcının daha esnek olmasını, ayırma gücünün kuvvetli olmasını sağlamaktadır. Poliamid miktarının az olmasıyla daha sert, aromatik ve alifatik çözücülere ve yağlara, tuzlu suya dayanıklı çekme-uzama dayanımı kuvvetli olan bir yapıştırıcı elde edilir. Her iki durumda da hem mekaniksel özelliklerinin mükemmel olmasını hem de yapıştırıcıdan beklenen şartların tamamının karşılandığını görmek mümkün değildir. Epoksi-poliamid karışımıyla değişik formülasyonlar hazırlanarak yapısal yapıştırıcı olarak, metal cam ve seramik gibi malzemelerin ya kendilerine ya da farklı malzemelere yapıştırılmasını mümkün kılan yapıştırıcılar üretilmektedir. Epoksi-poliamid yapıştırıcılarının en önemli özelliği, genişliği farklı olan malzemelerin yapıştırılması ve -70°C ile 120°C arasında değişen sıcaklıklara dayanıklı olmasıdır.

3.6.2.4. Epoksi-naylon yapıştırıcısı

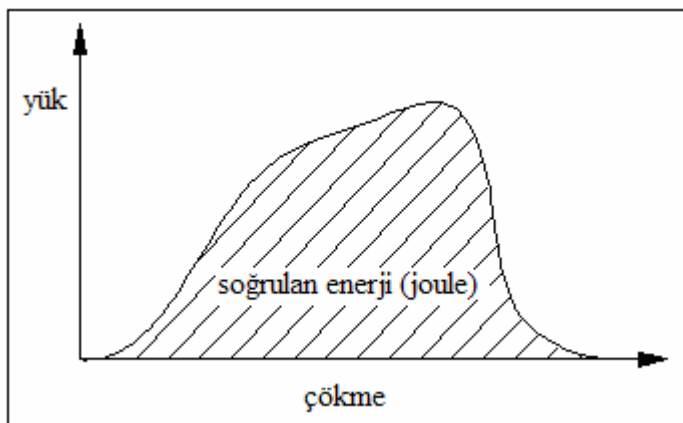
Epoksi-naylon karışımıyla katı, sert ve kuvvetli bir yapıştırıcı elde edilmektedir. Yapıştırıcı, -120°C ve 300°C gibi geniş sıcaklık aralığında kullanılmaktadır. Şok ve vibrasyona karşı üstün dayanma özelliği bulunmaktadır. Ancak neme ve kimyasallara karşı direnci azdır. Kürleşme için ısı ve basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Metallerin yapıştırılmasında, alüminyumun oluklu sandviç sistemlerine yapıştırılmasında ve uçak sanayisinde kullanılmaktadır.

4. DARBE YÜKÜ, YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA DARBE YÜKÜNÜN ÖNEMİ VE TEST YÖNTEMLERİ

4.1. Darbenin Tanımı

Darbe; düşük, orta ve yüksek hızlarda çok kısa bir sürede malzeme üzerine kısmi veya çok büyük kuvvetlerin uygulanması şeklinde tanımlanır. Mühendislikte yaygın olarak kullanılan malzemelerin darbelere karşı davranışları elastik ve/veya plastik deformasyon olarak görülmektedir. Kompozit malzemelerde ise çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan veya kalmayan bölgede de genellikle gözle görülemeyen veya çok zayıf şekilde görülebilen hasarlar meydana gelebilir. Darbe süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, bu malzemenin mukavemetinin ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle düşük ve yüksek hızlarda deney parçasının kırılmasında soğurulan enerji miktarını ölçmek darbe deneyinin en önemli amacı olmaktadır (WEB_2 2007).

Malzemenin yüksek oranda ani yüklemelere karşı göstermiş olduğu dirence *darbe direnci* denir. Malzemelerin darbe yüklerine karşı davranışları oldukça karmaşıktır. Yüksek hızlardaki darbe malzeme üzerinde gözle görülür hasarlar meydana getirir. Fakat düşük ve orta hızlardaki darbe daha az önemli gibi görünse de malzemenin içerisinde mikro çatlaklara neden olabilir. Önceden görülemeyen ve potansiyel tehlike arz eden bu hasarlar çalışma esnasında büyüyerek büyük felaketlere sebebiyet verebilir. Malzemelerin darbe direncinin tespit edilmesi birçok mühendislik uygulamalarında parçaların çalışma ömrünün ölçülmesi bakımından oldukça önem arz etmektedir.



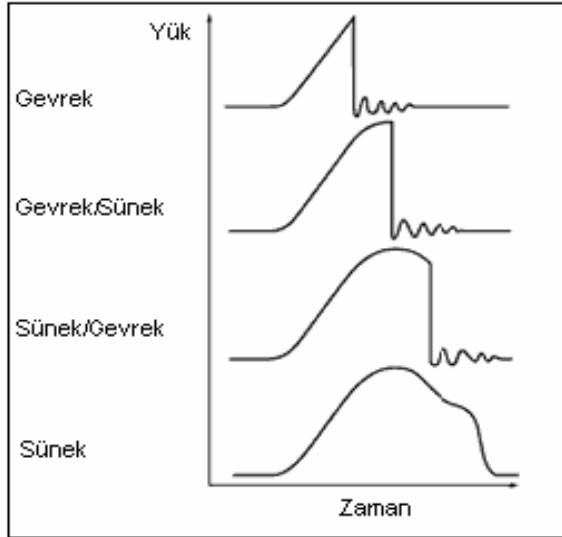
Şekil 4.1. Yük-çökme eğrisi (WEB_2 2007)

Darbe yükleri parça bünyesinde darbe enerjisine dönüşerek parça tarafından hasara uğrayana kadar soğrulacaktır. Şekil 4.1’de darbe esnasında yük-çökme eğrisi görülmektedir. Bu eğri altında kalan alan soğrulan enerjiyi vermektedir.

4.2. Sünek ve Gevrek Malzemelerin Darbe Davranışı

Darbe parça üzerine genelde tek eksenliden çok iki eksenli olarak etki eder. Parçanın sünek veya gevrek oluşu, kalıplama ile üretilen bir malzeme üzerinde gerilmelerin bulunması, plastik bir malzeme için polimerlerin dizilimi, zayıf nokta kaynakları ve parça geometrisi gibi çeşitli faktörler darbe performansını etkiler. Birçok malzeme ya sünek ya da gevrek olarak test tipine ve sıcaklık koşuluna göre hasara uğratılabilir. Örneğin bir malzeme üzerine eğer plastik kaplama yapılabiliyorsa darbe özelliği bu kaplama ile değiştirilebilir (WEB_2 2007). Şekil 4.2’de sünek ve gevrek malzemelerin darbe yükü altında yük-zaman eğrileri verilmiştir.

Gevrek malzeme üzerinde küçük bir darbe enerjisiyle çatlak meydana gelir ve meydana gelen bu çatlağın zamanla büyümesiyle malzeme parçalanır.



Şekil 4.2. Sünek ve gevrek malzemelerin yük-zaman eğrileri (WEB_2 2007)

4.3. Yapıştırma Bağlantılarında Darbe Yükünün Önemi

Hayatımızı kolaylaştıran ürünlerin birçoğunda yapıştırma bağlantılı birleştirmeler mevcuttur ve bunlar zaman zaman darbe yüküne maruz kalmaktadır. Örneğin mobil telefonlarda bir takım bağlantılar yapıştırıcılar ile sağlanmaktadır. Telefon yere

düşürüldüğünde veya başka nedenlerle darbelere maruz kalacağından bu tarz etkenler karşısında ürün garanti edilmelidir. Bir başka örnek olarak, yolcu araçlarında kaynaklı bağlantı kadar yapıştırma bağlantıları da mevcuttur. Kapı panelleri, motor kaportası ve birçok plastik aksam uygun geometrilerde yapıştırma ile birleştirilmektedir. Bu yüzden kaza durumunda ani çarpmalara karşı bu bağlantıların davranışları önem arz etmektedir.

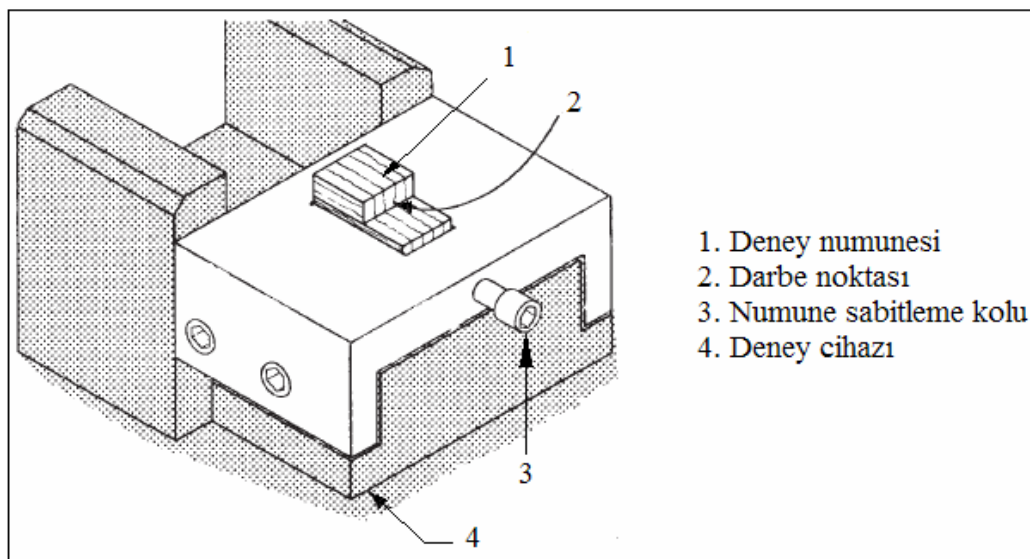
Bu açıdan özellikle insan can güvenliğinin söz konusu olduğu durumlarda darbe yüküne maruz kalmış yapılarda oluşacak hasarların ve gerilmelerin tahmin edilip sonuçların değerlendirilebilmesi gerekmektedir (Adams 2005).

4.4. Yapıştırıcıların ve Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Testleri İçin Kullanılan Deneysel Yöntemler

Malzemelerin darbe performanslarını belirleyebilmek için birçok metot geliştirilmiştir ve bunların bir kısmı standardize edilmiştir. Bu metotlar içinde düşük darbe hızlarında en çok kullanılan, sarkaç çekicinin (pendulum hammer) uygulandığı IZOD ve CHARPY test metotlarıdır (Adams 2005).

4.4.1. Sarkaç testi (Pendulum test)

Yapıştırma bağlantılı birleştirmelerin darbe yükü altında gerilmelerini tayin etmek için sarkaç test metotlarından biri olan ASTM Block Impact Test (ASTM D950-3) standardı kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Deney numunesinin çentik (izod) darbe cihazına bağlanması (ASTM D950-3)

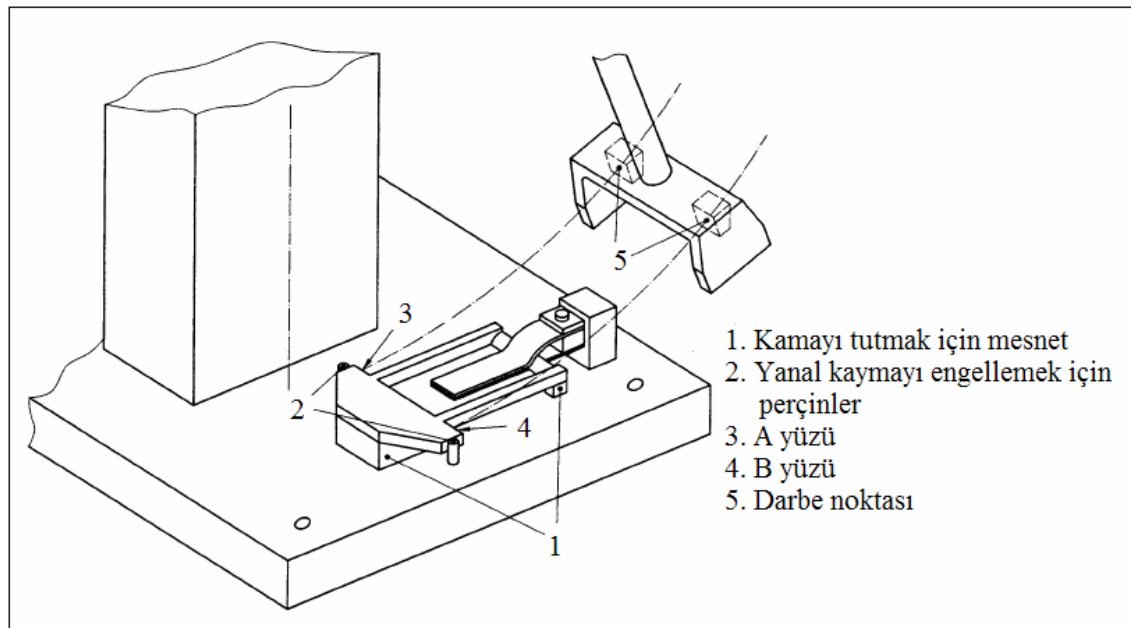
Bu testte deney numunesi iki bloktan oluşmaktadır. Deney için test makinesine bağlanan büyük blok üzerine küçük blok yapıştırılarak çekici küçük bloğa çarptırarak suretiyle darbe yükü uygulanmaktadır. Sistem Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Yapıştırılmış numunenin deney sonunda absorbe ettiği darbe enerjisi, çekicinin ilk durumdaki potansiyel enerjisi ile çarpışma sonrasındaki potansiyel enerjisi arasındaki fark kadardır.

Sarkaç test metotlarından bir diğeri de iki metalik levhayı birbirine yapıştırmış yüksek mukavemetli yapıştırıcıların darbeli uygulamalarda ayrılmaya karşı dinamik tayini için kullanılan Kamalı Darbe Metodu’dur (Wedge Impact Method, TS EN ISO 11343).

Birbirine yapıştırılmış levhaların ayrılma işlemi, yüksek hızla hareket eden ve yer değiştirmesi bir darbe ile başlatılan bir kama yardımıyla yapılır. Deney düzeneği Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

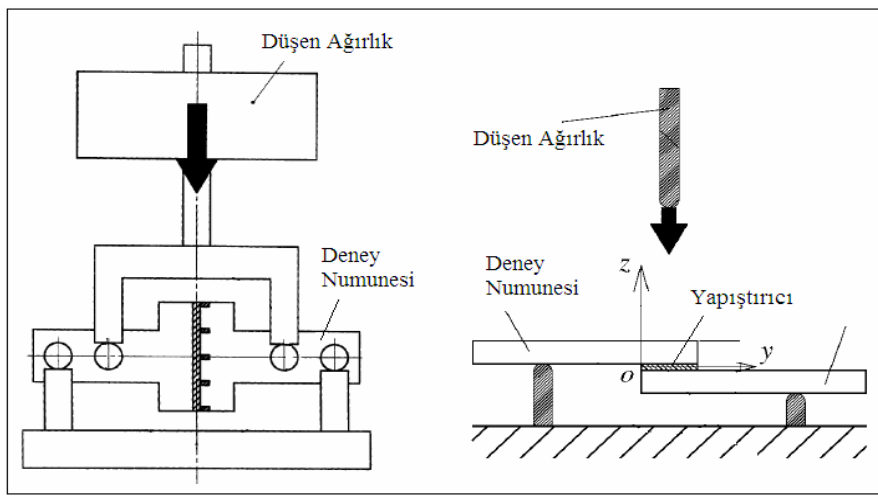
Deney sonuçlarında darbeli uygulamaya ait kuvvet – zaman (veya kuvvet – yer değiştirme) verilerinden, ortalama ayırma kuvveti hesaplanır. Ortalama ayırma kuvveti deney numunesinin genişliğine bölünerek, numune genişliğinin her metresi başına kN cinsinden ayrılmaya karşı dinamik dayanım bulunur.



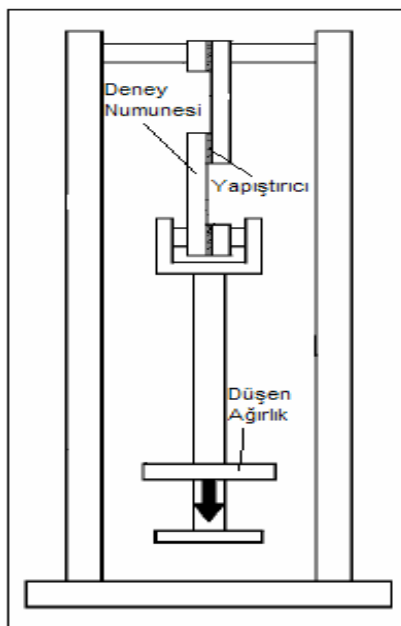
Şekil 4.4. Sarkaç tipi darbe uygulamalı kamalı deney düzeneği (TS EN ISO 11343)

4.4.2. Ağırlık düşürme testi (Drop-weight tester)

Sık kullanılan darbe test metodlarından biri de ağırlık düşürmeli test metodudur. Sarkaç testlerinde darbe limiti sınırlı olmaktadır. Fakat ağırlık düşürmeli bir test cihazında, istenilen darbe enerjisinde delme ve tekrarlı darbe uygulanması gibi testler yapılabilir. Literatürde (Higuci vd 2002, Sawa vd 2002a) yapılan çalışmalarda tek tesirli bindirme bağlantıları ile alın alına bağlantıların ağırlık düşürme yöntemiyle darbe eğilme momenti ve darbe çeki yükü gibi yükler altında bağlantılarda x-y-z eksenlerinde meydana gelen gerilmeler ve çökmeler analiz edilmiştir. Şekil 4.5 ve 4.6'da deney numunelerine ağırlık düşürülerek darbe yükünün uygulanması gösterilmiştir.



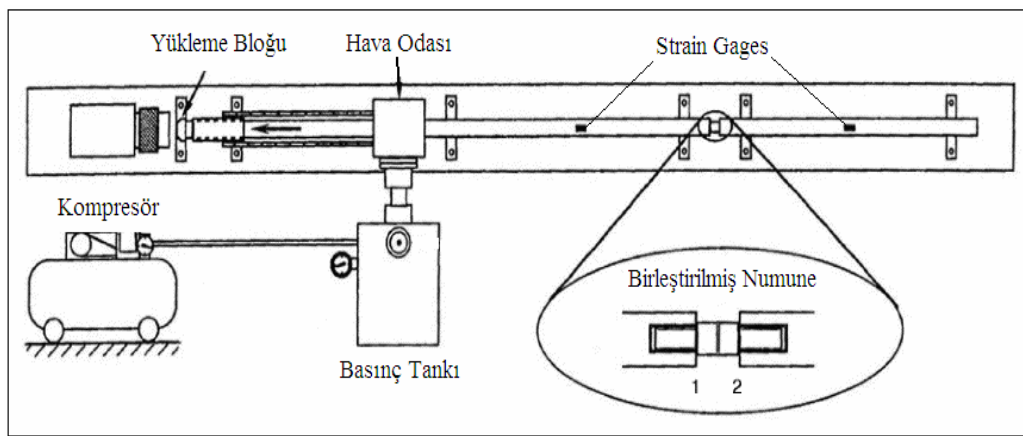
Şekil 4.5. Ağırlık düşürerek eğilme momenti uygulanması (Higuci vd 2002)



Şekil 4.6 Darbe çeki yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısı (Sawa vd 2002a)

4.4.3. Split-Hopkinson çubuğu (Kolsky bar)

Bu test sistemi, yüksek hızlarda gerilme-uzama değerlerini ölçmede kullanılır. Sistem iki çubuk arasına yerleştirilmiş bir numune ile çubuklardan birine çarpan ve çarpma hızı bilinen bir diğer çubuktan oluşur. Çarpma sırasında çubuklardaki uzama değişimleri ölçülür. Çubukların ve numunenin kesit alanları ve akustik empedansları arasındaki fark nedeniyle oluşan şok dalgası yansımalarından numune üzerindeki uzama, gerilme ve uzama hızı değerleri ölçülür. Ancak bu değerler eşeksenli gerilme varsayımı nedeniyle ortalama değerlerdir. Deney düzeneği Şekil 4.7’de verilmiştir (Adams 2005).



Şekil 4.7 Split-Hopkinson basınç çubuk test sistemi (Adams 2005)

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deney Düzenegi

Deneylerde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan CEAST P/N 6958.000 marka Izod darbe cihazı kullanılmıştır. Test cihazı, maksimum 25J'lük potansiyel enerjiye sahip olup farklı enerji kapasitelerinde çekiçler kullanılabilir. Cihaz termoplastik malzemelerin, esneklik davranışlarını standart gerilme durumlarında, darbe kırılma enerjilerine bakarak değerlendirmektedir. Şekil 5.1'de deney cihazı gösterilmiştir.



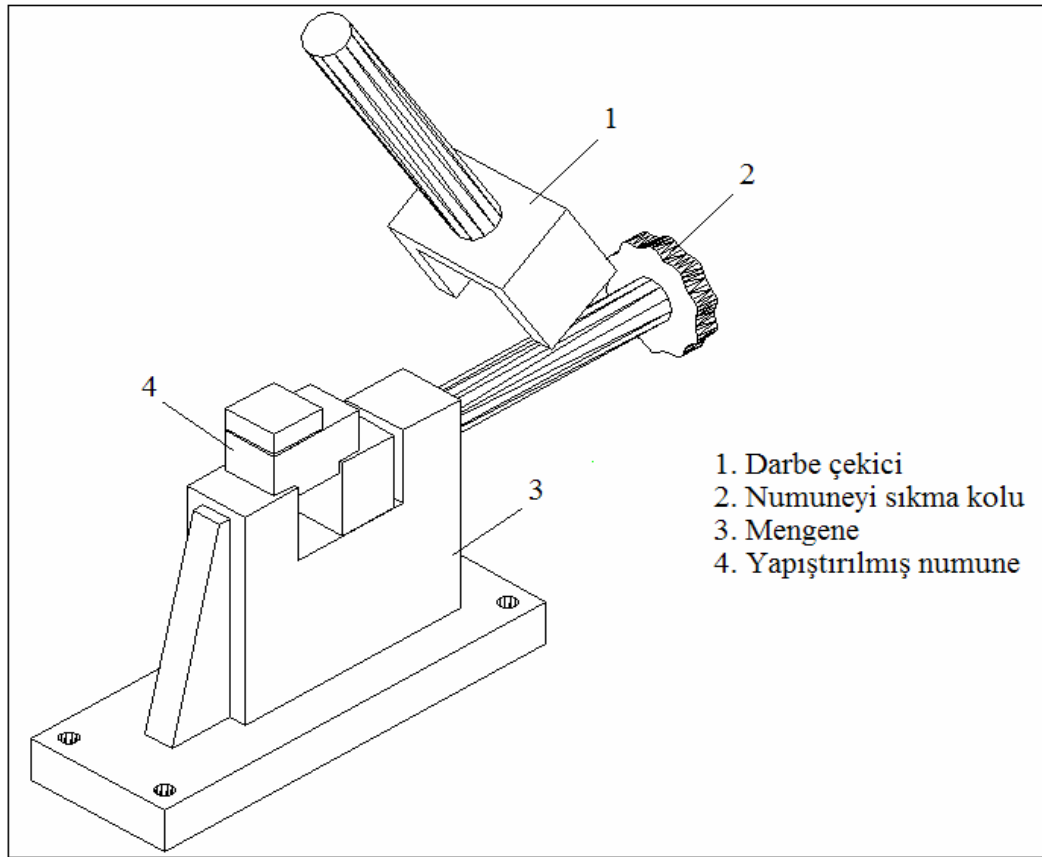
Şekil 5.1 Deneylerde kullanılan Izod darbe cihazı

5.2. Yükleme Durumu

Deneylerde ASTM D 950-3 standardına göre yapıştırılmış deney numunelerinin darbe dayanımlarının tespit edilmesine çalışılmıştır. Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için deney sonuçlarında absorbe edilen enerji, kullanılan çekicinin sahip olduğu

potansiyel enerjinin %20'si ile % 80'i arasında olmalıdır. Bu nedenle yapılan birkaç ön denemeden sonra deneylerde 25J'lük çekiçler kullanılmasına karar verilmiştir.

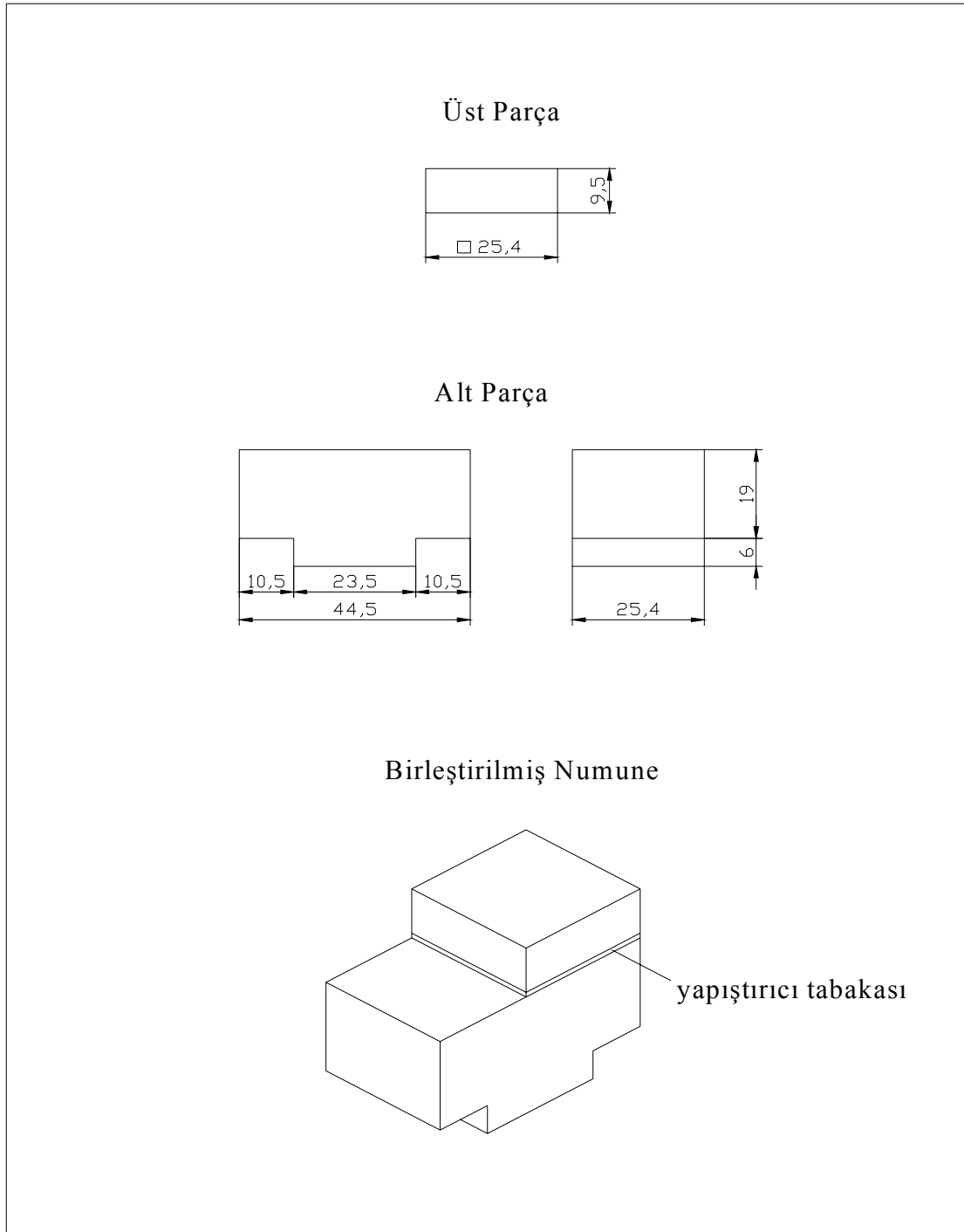
Deney öncesinde, ortam sıcaklığı, kullanılan çekiçin potansiyel enerjisi, kullanılmak istenen standart, deney numunesinin eni, boyu, test hızı vb. değerler cihaz üzerindeki kontrol panelinden girilmektedir. Deney sonunda absorbe edilen enerji (J), darbe direnci (kJ/m^2), darbe test hızı (m/s) ve darbe sonrası çekiçin yükselme açısı cihazın ekranından okunmaktadır. Elde edilen verileri bilgisayara aktarmakta mümkündür. Şekil 5.2'de yapıştırılan numune üzerine darbe yükünün nasıl uygulandığı gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Deney numunesinin çentik (izod) darbe test cihazına bağlanması

5.3. Deney Numuneleri

Deneylerde sanayide en çok kullanılan malzeme türleri dikkate alınarak çelik, bakır ve alüminyum olmak üzere üç farklı malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler, ASTM D 950-3 standardında verilen boyutlara göre imal edilmiştir. Numune boyutları Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Deney numunelerinin boyutları (ASTM D950-03)

İmalatı gerçekleştirilen deney numunelerinin yüzey pürüzlülükleri Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan Mahr, Perthometer M2 marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm yapılan cihazın fotoğrafı Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (WEB_3 2007)

5.4. DeneYlerde Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri

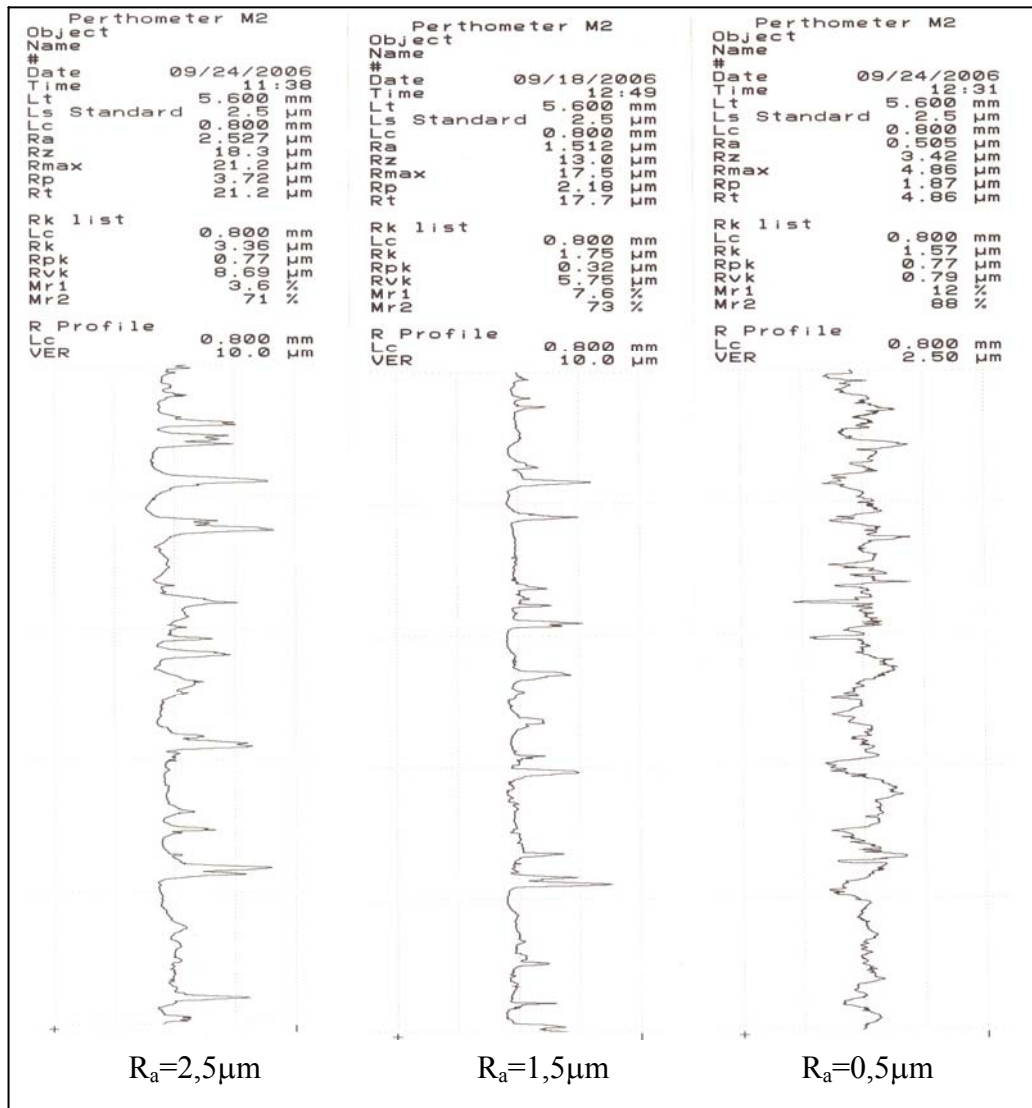
DeneYlerde Loctite Hysol 3421 epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında yavaşça kürleşebilen iki bileşenli (epoksi + hızlandırıcı) bir yapıştırıcıdır. Viskozitesinin düşüklüğü, 180 dakikalık uygulama öncesi yapıştırma süresi ve 1mm'lik yapıştırma kalınlığına kadar, geniş yüzeylerin birleştirilmesi için uygundur. Neme karşı gösterdiği yüksek direnç sayesinde su borularının, deniz botlarının, metal, ağaç, seramik, plastik vb. malzemelerin birleştirilmesinde iyi sonuçlar vermektedir. Uygulanma sonrasında 240 dakikalık sabitleme süresine sahip yapıştırıcı için üretici firma tarafından belirtilen başlıca fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Loctite 3421'in fiziksel ve mekanik özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Kimyasal Bileşim	Epoksi - Hızlandırıcı
Viskozite (25°C'de)	40.000 mPa.s
Maksimum Yapıştırma Kalınlığı	1,0 mm
Çalışma Sıcaklığı	+125°C'ye kadar
Kayma Gerilmesi (ISO 4587)	20-25 N/mm ²
Soyulma Direnci (ISO 8510-2)	2,5 N/mm
Çekme Gerilmesi (ISO 6922)	13-19 N/mm ²
Kürleşme Süresi (22°C'de)	240 dakika

5.5. Yapıştırma işlemi

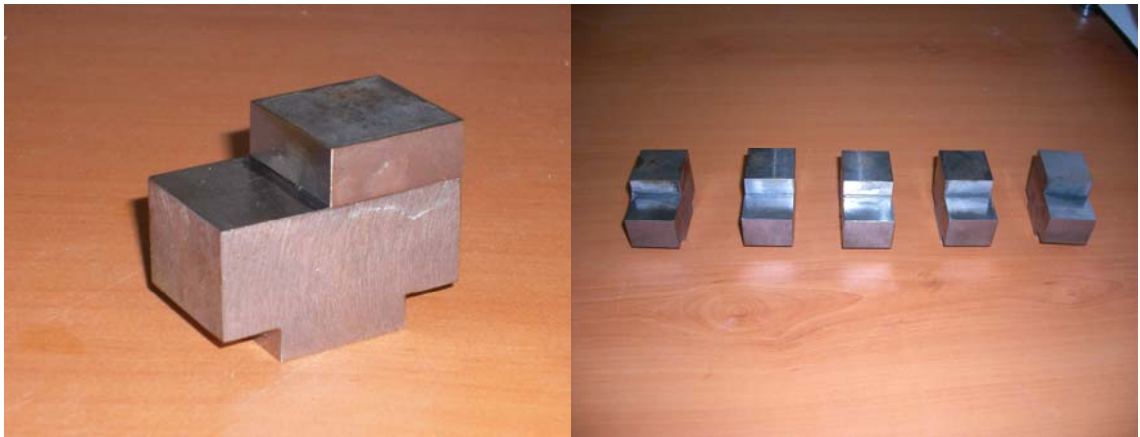
İncelenecek her bir parametre için 5'er adet numune hazırlanarak deneyler yapılmıştır. ASTM D 950-3 standardında imal edilen numuneler istenilen yüzey pürüzlülüğüne getirilmiştir. Farklı yüzey pürüzlülüklerine sahip yüzeyler elde edebilmek için malzeme cinsine göre kimyasal ve mekanik yöntemlerle yüzey aşındırma işlemleri yapılmıştır. Mekanik yöntem olarak bakır ve alüminyum numuneler için farklı numaralarda zımpara kâğıdı kullanılmıştır. Kimyasal yöntem olarak ta çelik numuneler için hidroklorik asit kullanılarak, numunelerin asit içinde bekleme sürelerine göre istenilen yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Şekil 5.5'de ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait değerler ve grafikler verilmiştir.



Şekil 5.5 Ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait değerler ve grafikler

Yüzey pürüzlülükleri ayarlandıktan sonra yüzey temizleme işlemine geçilmiştir. Deneysel numunelerinin yüzeyini temizlemek ve yağlardan arındırmak için Loctite 7063 marka solvent tabanlı endüstriyel bir temizleyici kullanılmıştır. 2 mPa.s gibi çok düşük viskoziteye sahip temizleyici yüzeye uygulandığında, oda sıcaklığında 60 saniyeden kısa bir sürede buharlaşmaktadır. Temizleyicinin yüzeye uygulanması, yapıştırıcının kürleşme hızına ve gerilme değerlerine herhangi bir etki etmemektedir.

Numunelerin yapıştırılmasında Loctite Hysol 3421 epoksi yapıştırıcısı kullanılmıştır. İki bileşenli olan bu yapıştırıcı, homojen bir karışım elde edilinceye kadar iyice karıştırılmıştır. Elde edilen karışım spatula yardımıyla birleştirilecek yüzeylere tatbik edilmiştir ve yüzeylerin tamamen ıslanmış olmasına dikkat edilmiştir. Yapıştırıcının uygulandığı numunelerden küçük parça büyük parça üzerine bastırılarak birleştirme gerçekleştirilmiştir ve taşan fazlalıklar temizlenmiştir. Birleştirilmiş numuneler oda sıcaklığında (20–25°C) 24 saat bekletilerek yapıştırıcının kürleşmesi beklenmiştir. 24 saatin sonunda numuneler deneye tabi tutulmuştur. Şekil 5.6'da deneye hazır birleştirilmiş numuneler görülmektedir.



Şekil 5.6 Yapıştırılmış deneysel numuneleri

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapıştırma bağlantılarının mukavemetini belirleyebilmek için günümüzde kullanılan çeşitli test metotları vardır. Ancak bu testlerden elde edilen değerler, yapıştırma bağlantısının mukavemeti hakkında gerçek değerleri vermemektedir. Yapıştırma bağlantısının konstrüksiyonu ve işletme şartları, yapıştırma bağlantısının mukavemeti üzerinde son derece etkili olmaktadır. Bundan dolayı, tasarım aşamasında belirtilen bu faktörler göz önünde bulundurulmalı, çalışma şartlarına uygun deneyler yapılmalı ve elde edilen mukavemet değerleri kullanılmalıdır.

Literatürde (Loctite Corporation 1998) mukavemet hesapları yapılırken farklı düzeltme faktörlerinin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Bu faktörlerin başlıcaları; malzeme, geçme, yapıştırma boşluğu, yüzey pürüzlülüğü, geometri, çalışma sıcaklığı, ısıl yaşlanma ve çalışma ortamı olarak verilmektedir.

Bu çalışmada;

- Yüzey pürüzlülüğü,
- Yapıştırılan malzeme,
- Yapıştırma kalınlığı,

değiştirilerek, yapıştırma bağlantılarının darbe dayanımına olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

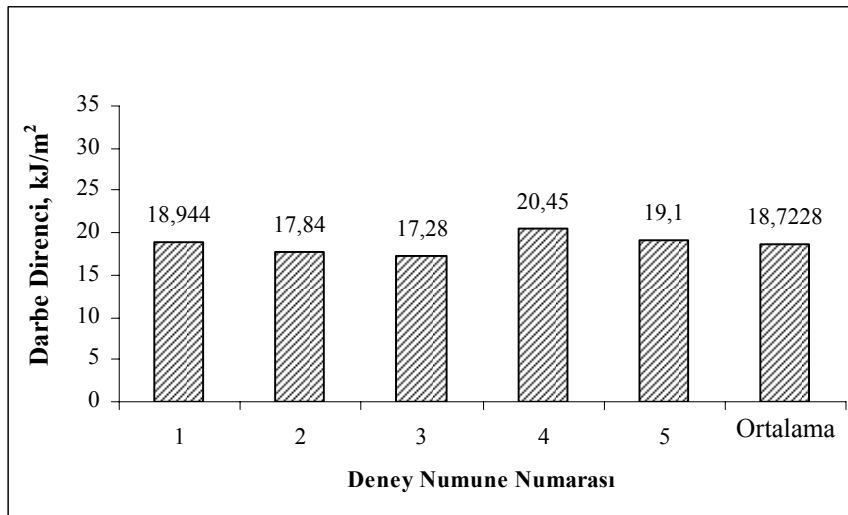
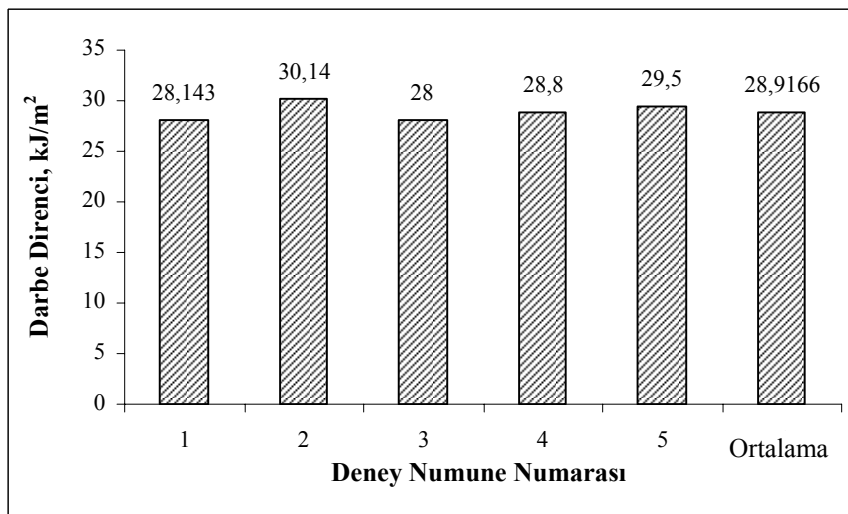
6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Darbe Dayanımına Etkisi

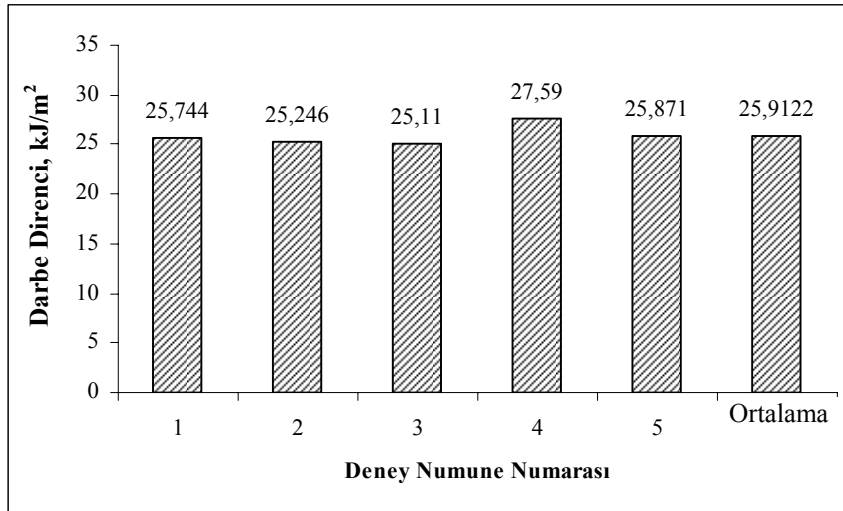
Yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırma bağlantısının darbe mukavemetine etkisi araştırılırken, yapıştırma kalınlığı sabit tutularak, üç farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip deney numuneleri kullanılmıştır. Bakır ve alüminyum numuneler farklı numaralarda zımpara kağıdı ile mekanik olarak, çelik numuneler ise hidroklorik asit içerisinde bekletilerek kimyasal olarak farklı yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. İncelenmek istenen yüzey pürüzlülük değerleri elde edildikten sonra uygun prosedürde yapıştırılan deney numuneleri, yapıştırma işleminden 24 saat sonra deneye tabi tutulmuştur. Uygulanan deney şartları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Yüzey pürüzlülüğü etkisinin tespitinde uygulanan deney şartları

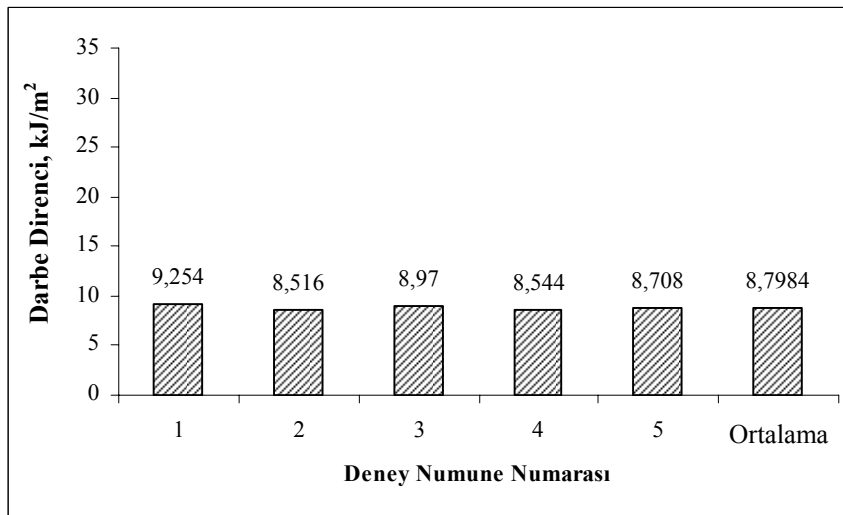
Yapıştırılan Malzeme	Çelik-Çelik			Alüminyum-Alüminyum			Bakır-Bakır		
En / Boy Oranı	25,4/25,4=1			25,4/25,4=1			25,4/25,4=1		
Yapıştırma Boşluğu (mm)	0,1			0,1			0,1		
Numune Sayısı	5			5			5		
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	25			25			25		
Yüzey Pürüzlülüğü, R_a (μm)	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
Ort. Absorbe Edilen Enerji (J)	12,08	18,67	16,70	5,67	5,77	4,92	6,97	6,88	8,17
Ortalama Darbe Direnci, kJ/m^2	18,13	28,92	25,91	8,8	8,94	7,63	10,8	10,67	12,66

Çelik, alüminyum ve bakır malzemelerde farklı yüzey pürüzlülüklerinin darbe direncine olan etkilerini incelemek için yapılan deney sonuçlarından elde edilen veriler Şekil 6.1 – 6.9’da verilmiştir.

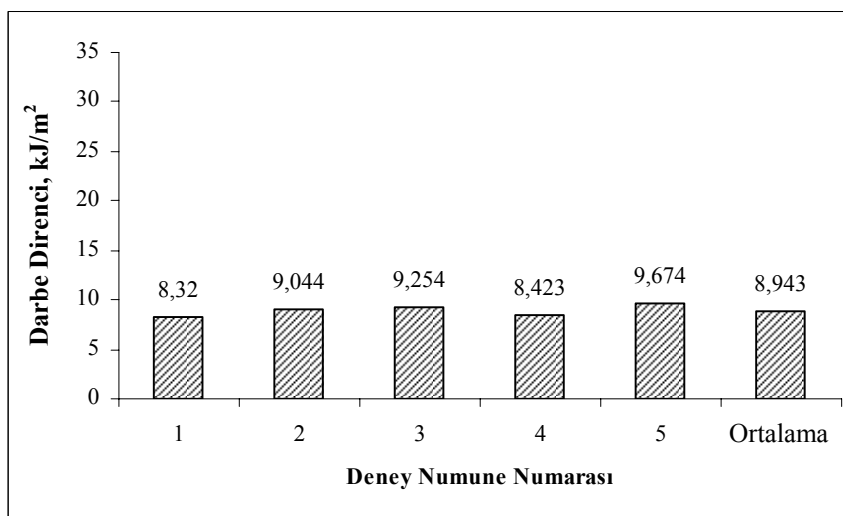
**Şekil 6.1** Çelik numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları**Şekil 6.2** Çelik numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları



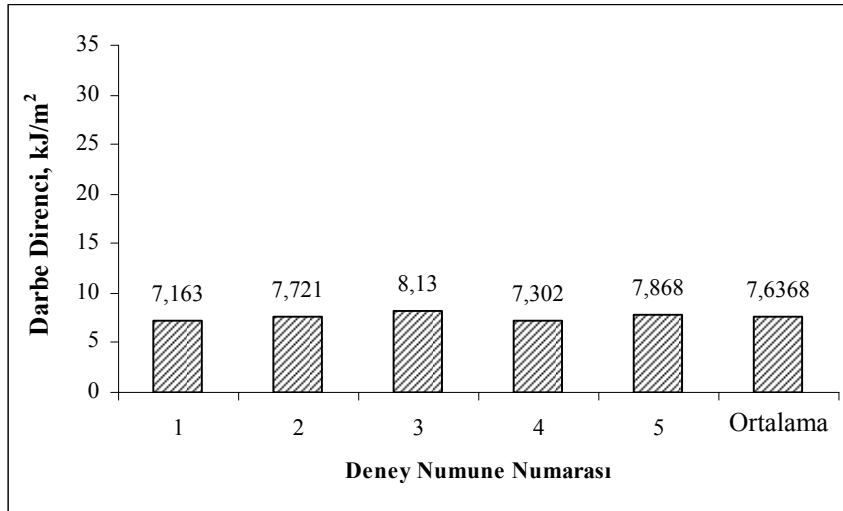
Şekil 6.3 Çelik numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları



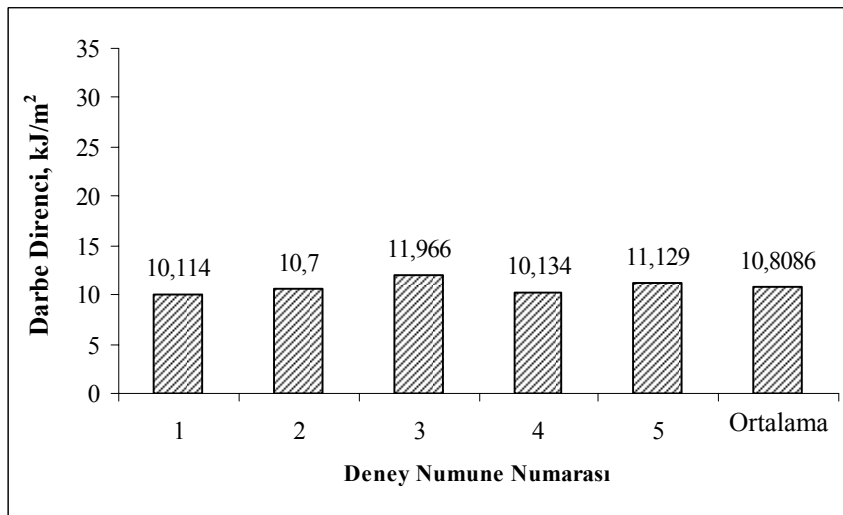
Şekil 6.4 Alüminyum numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları



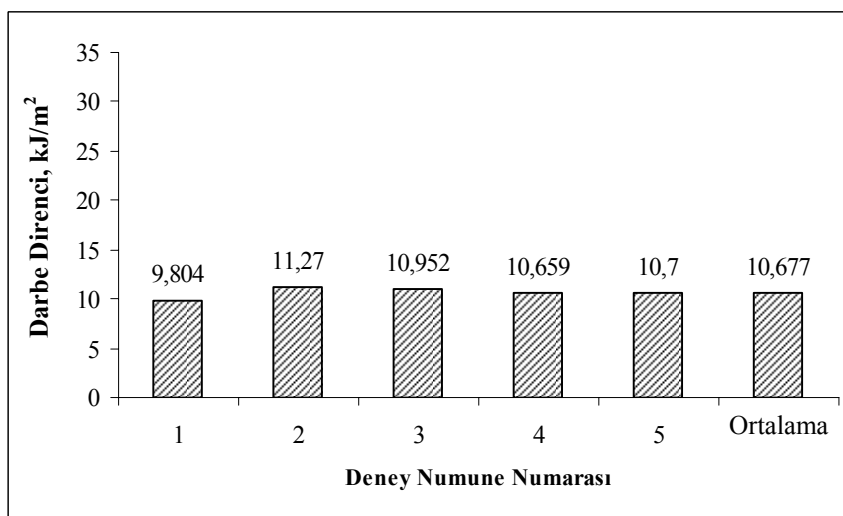
Şekil 6.5 Alüminyum numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları



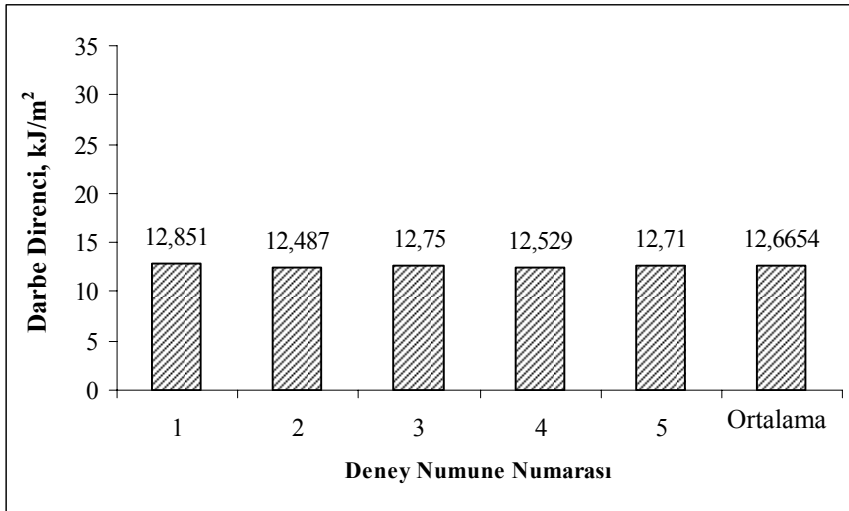
Şekil 6.6 Alüminyum numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deneç sonuçları



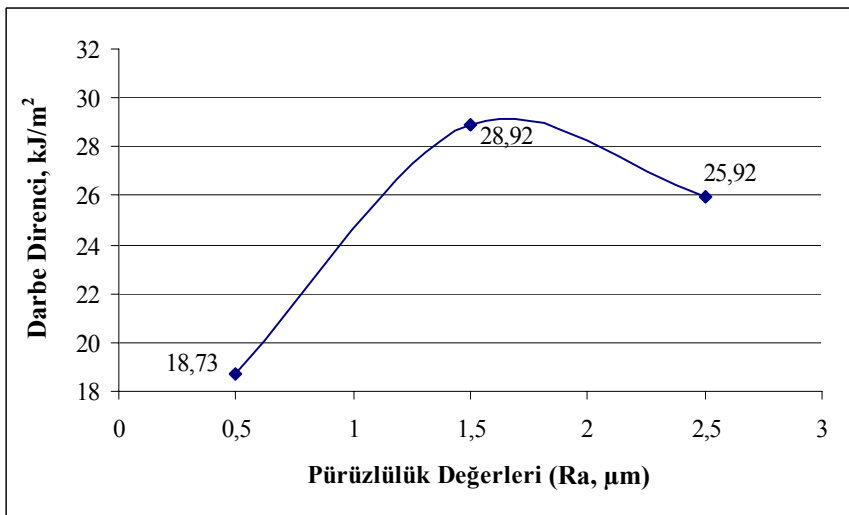
Şekil 6.7 Bakır numunelerde $R_a = 0,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deneç sonuçları



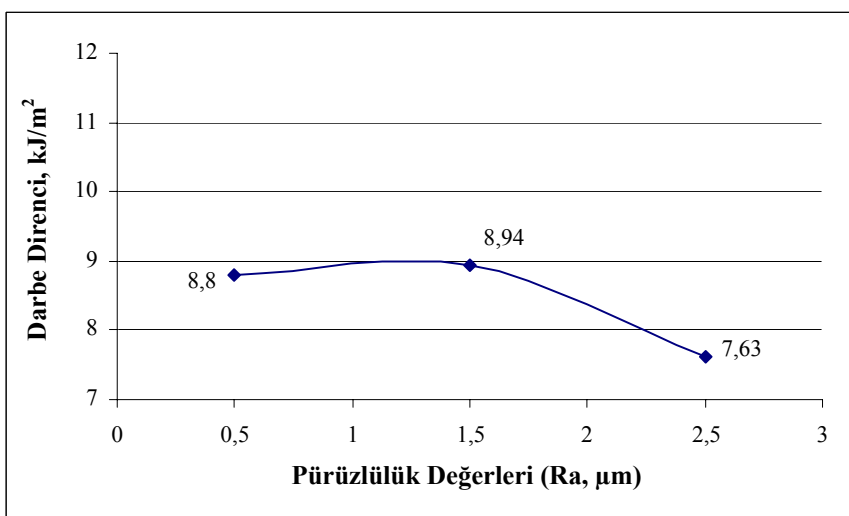
Şekil 6.8 Bakır numunelerde $R_a = 1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deneç sonuçları



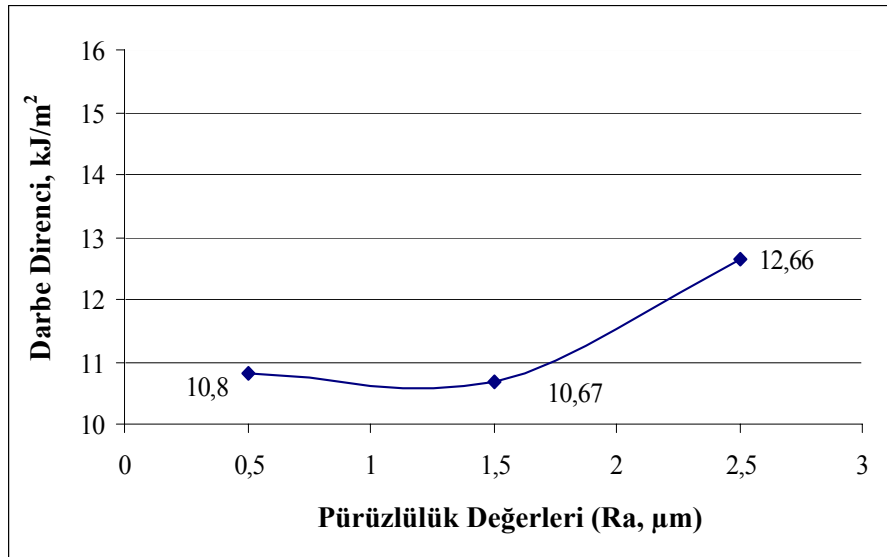
Şekil 6.9 Bakır numunelerde $R_a = 2,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları



Şekil 6.10 Çelik numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi



Şekil 6.11 Alüminyum numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi



Şekil 6.12 Bakır numunelerde yüzey pürüzlülüğünün darbe direncine etkisi

Şekil 6.10 – 6.12’ de üç farklı malzemenin farklı yüzey pürüzlülük değerlerindeki darbe direnci değerleri verilmiştir. En düşük mukavemet değerleri, en az yüzey pürüzlülüğünde ($R_a=0,5\mu\text{m}$) bulunmuştur. Darbe direnci açısından optimum pürüzlülük aralığı $R_a=1,5-2\mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir.

$R_a=0,5\mu\text{m}$ için minimum değerler bulunmasının nedeni yüzeyin pürüzsüz düz olmasından dolayı kama etkisinin kaybolarak yapıştırıcının tutunacağı yerlerin azalmasıdır. Yüzey pürüzlülüğü gereğinden fazla arttığı zamanda mukavemet değerleri tekrar düşmektedir. Bunun nedeni olarak, aradaki yapıştırıcı kalınlığının kısmen artmış olması ve fazla pürüzlülüğünden dolayı yapıştırıcının, malzeme yüzeyine tam olarak yayınamadığı (düşük ıslanabilirlik) söylenebilir.

Bakır numuneler, çelik ve alüminyum numunelere göre biraz farklılık göstermiştir. Bunun nedeni olarak bakırın aktiflik sırası dolayısıyla yapıştırıcı ile daha kuvvetli kimyasal bağlar oluşturması söylenebilir.

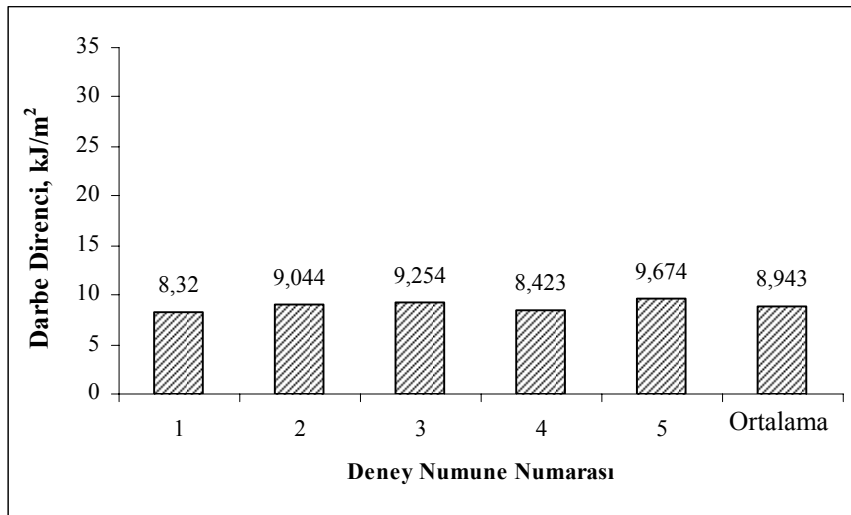
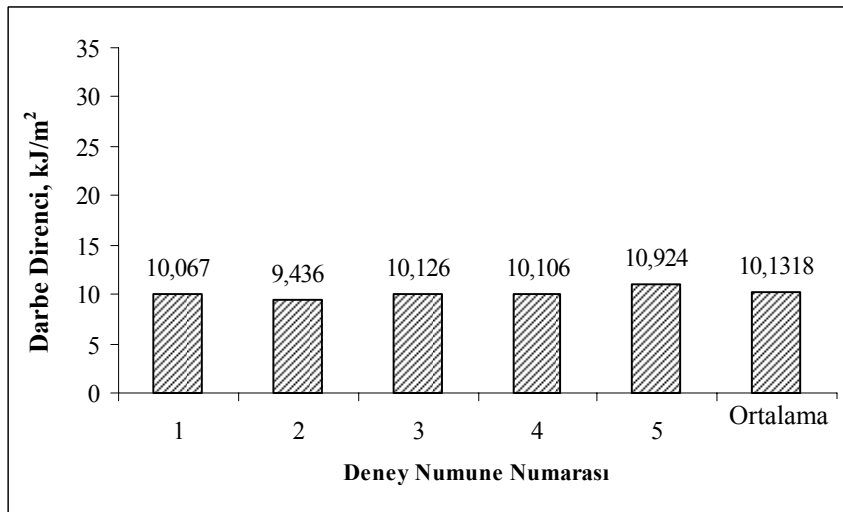
6.2. Yapıştırma Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi

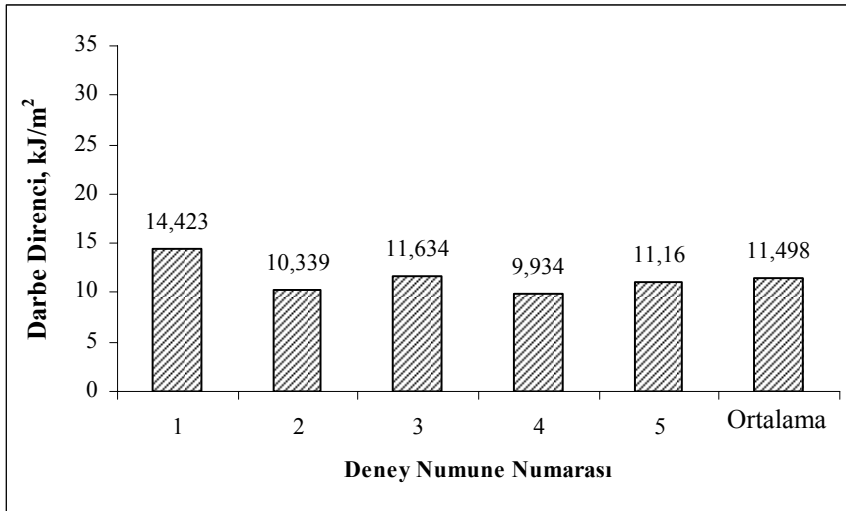
Yapıştırma kalınlığının, yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisi incelenirken, yapıştırılacak numuneler arasında 3 farklı kalınlık değeri (0,1; 0,3; 0,5mm) seçilerek deneyler yapılmıştır. Uygulanan deney şartları Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2 Yapıştırma kalınlığı etkisinin tespitinde uygulanan deney şartları

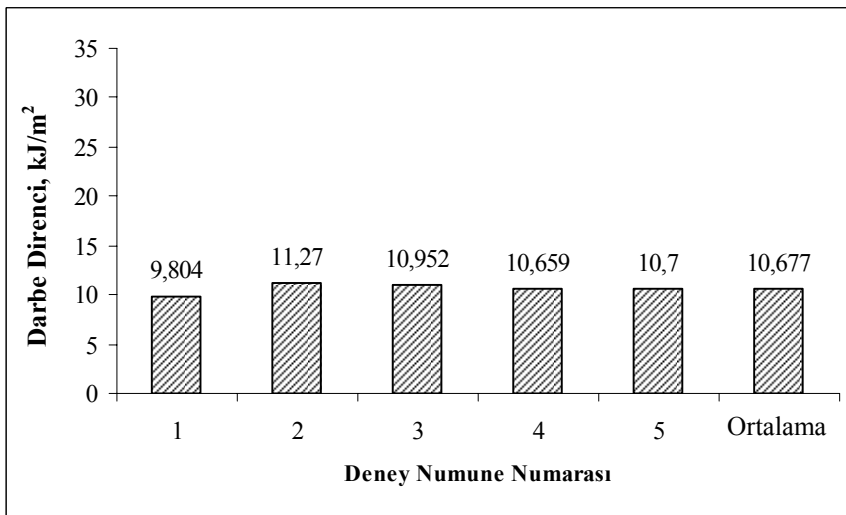
Yapıştırılan Malzeme	Alüminyum-Alüminyum			Bakır-Bakır		
Yüzey Pürüzlülüğü, R_a (μm)	1,5			1,5		
En / Boy Oranı	25,4/25,4 = 1			25,4/25,4=1		
Numune Sayısı	5			5		
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	25			25		
Yapıştırma Kalınlığı, s (mm)	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
Ort. Absorbe Edilen Enerji (J)	5,773	6,537	7,418	6,88	8,04	7,54
Ortalama Darbe Direnci, kJ/m^2	8,94	10,13	11,5	10,67	12,45	11,68

Yapıştırma kalınlığının etkisi, tüm numunelerde $R_a=1,5\mu\text{m}$ pürüzlülük değeri için incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.13 – 6.18’ de verilmiştir.

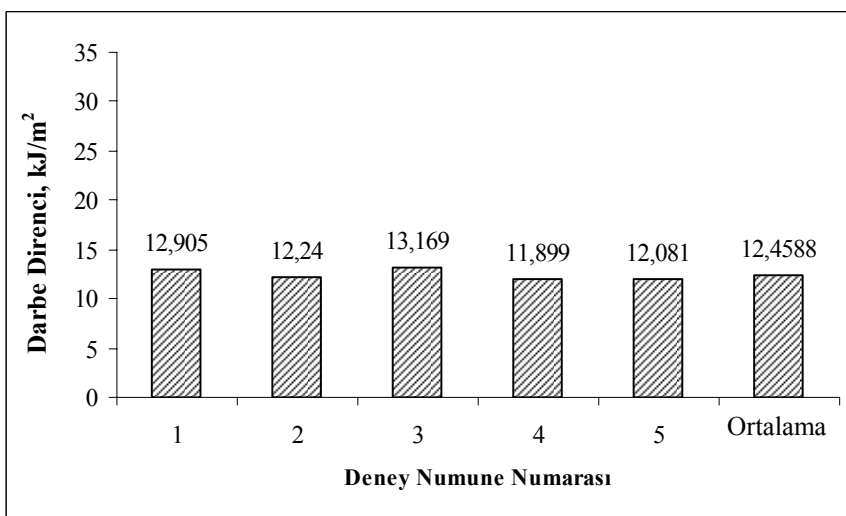
**Şekil 6.13** Alüminyum numunelerde s = 0,1mm kalınlık değeri için deney sonuçları**Şekil 6.14** Alüminyum numunelerde s=0,3mm kalınlık değeri için deney sonuçları



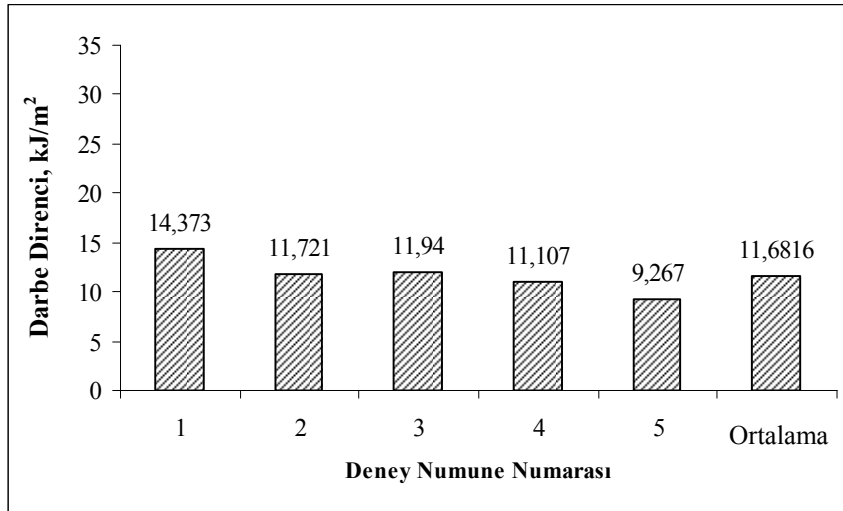
Şekil 6.15 Alüminyum numunelerde $s=0,5\text{mm}$ kalınlık değeri için deney sonuçları



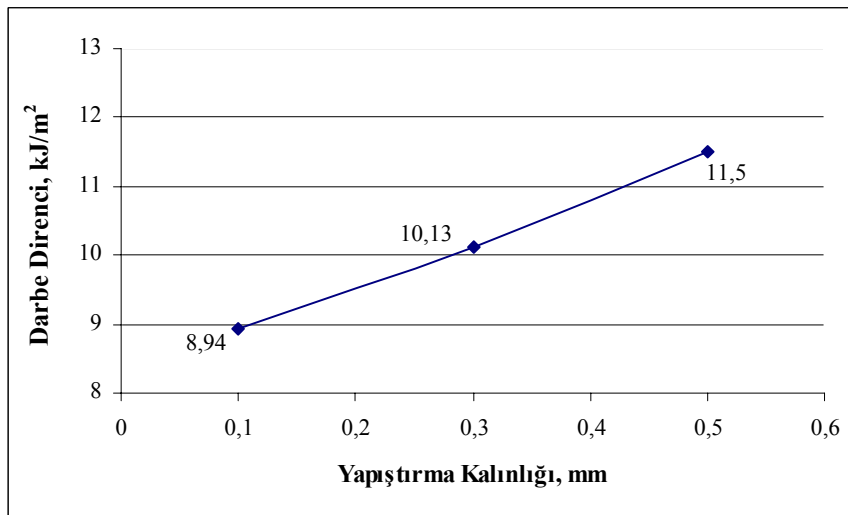
Şekil 6.16 Bakır numunelerde $s = 0,1\text{mm}$ kalınlık değeri için deney sonuçları



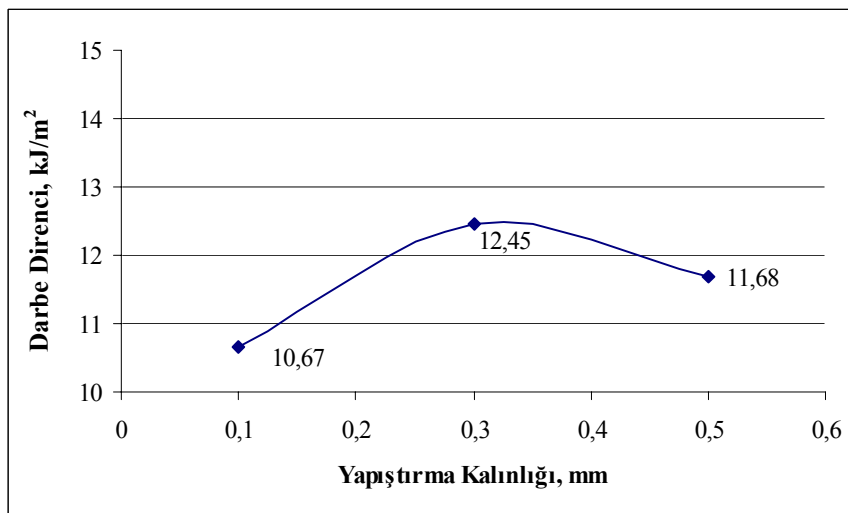
Şekil 6.17 Bakır numunelerde $s = 0,3\text{mm}$ kalınlık değeri için deney sonuçları



Şekil 6.18 Bakır numunelerde $s = 0,5\text{mm}$ kalınlık değeri için deney sonuçları



Şekil 6.19 Alüminyum malzeme için yapıştırma kalınlığının darbe direncine etkisi



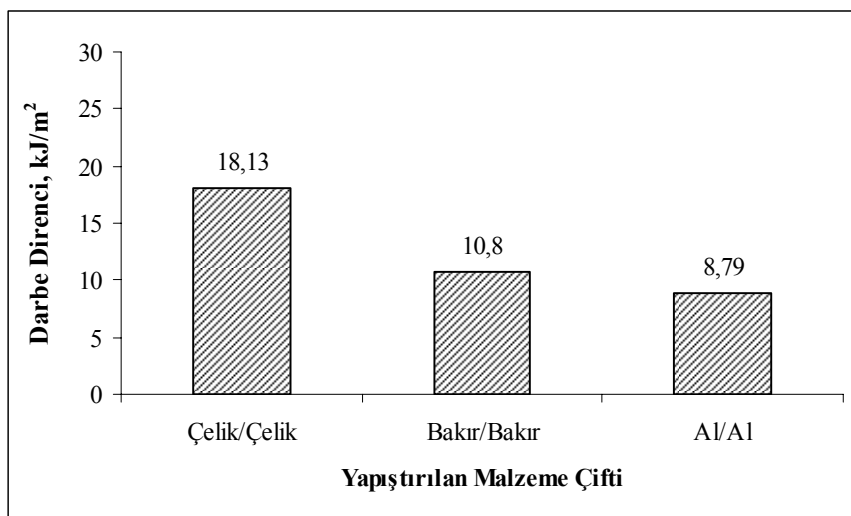
Şekil 6.20 Bakır malzeme için yapıştırma kalınlığının darbe direncine etkisi

Şekil 6.19 ve 6.20'den de görüleceği gibi yapıştırıcı film tabakası kalınlığı arttıkça bağlantıların, uygulanan darbeye karşı göstermiş olduğu direnç kullanılan malzemeye göre farklılık göstermektedir. Bakır numunelerde yapıştırma kalınlığı 0,3mm iken darbeye karşı göstermiş olduğu direnç, 0,1 ve 0,5mm yapıştırma kalınlıklarına göre daha yüksek değerler çıkmıştır. Alüminyum numunelerde ise yapıştırma kalınlığı arttıkça darbeye karşı gösterilen direnç artmıştır. 0,3mm yapıştırıcı kalınlığında optimum darbe direnci elde edildiği söylenebilir.

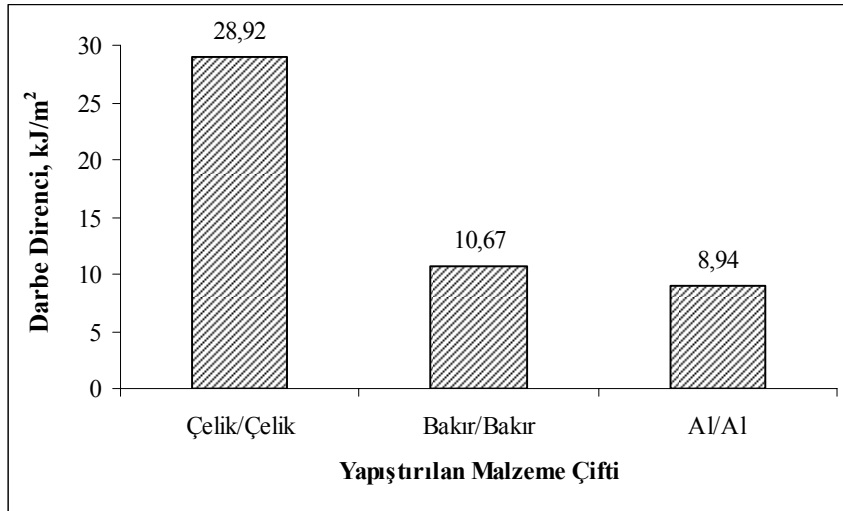
6.3. Yapıştırılan Malzemenin Darbe Dayanımına Etkisi

Yapıştırılacak malzeme seçimi yapılırken, özellikle genel makine sanayisinde en çok kullanılan çelik, bakır ve alüminyum gibi malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Uygulanan deney şartları Tablo 6.1'de verilmiştir.

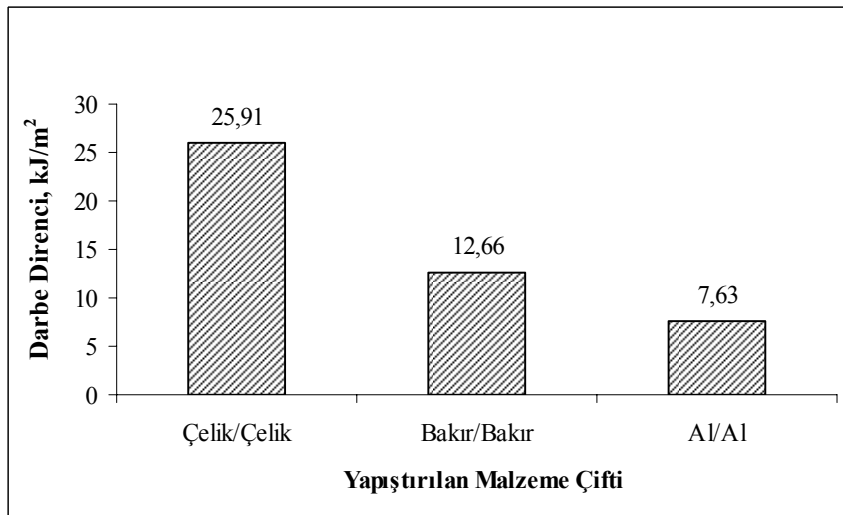
Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23'den görüleceği üzere, aynı şartlar altında sadece malzeme değiştirildiğinde darbe direnci değerlerinde önemli azalmalar görülmektedir. Çelik ile alüminyum malzemelerin darbe direnci değerleri arasında yaklaşık üç kat fark vardır. Bu farklılıkların, malzemelerin yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girme seviyeleri, serbest yüzey enerjileri ve aktiflik - pasiflik durumlarından kaynaklandığı söylenebilir. Alüminyum, pasif bir metal olduğu için yapıştırıcı ile kimyasal olarak daha zayıf bağlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bakır/bakır bağlantısının kopmasında daha çok kohezyon kopması, alüminyum/alüminyum bağlantısında ise adhezyon kopmasının meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 6.21 $R_a=0,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki



Şekil 6.22 $R_a=1,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki



Şekil 6.23 $R_a=2,5\mu\text{m}$ için yapıştırılan malzeme çifti ve darbe dirençleri arasındaki ilişki

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapıştırma bağlantılarının darbe mukavemetini etkileyen faktörlerden bazıları incelenmeye çalışılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının mukavemetlerini etkileyen faktörlerin belli başlı olanları aşağıda verilmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğünün etkisi,
- Yapıştırma kalınlığının (boşluğunun) etkisi,
- Yapıştırılan malzemenin etkisi,
- Yükleme şeklinin etkisi,
- Sıkı geçme + yapıştırmanın etkisi
- Kullanılan yapıştırıcının etkisi,
- Bağlantı geometrisinin etkisi,
- Çalışma sıcaklığının etkisi,
- Isıl yaşlanmanın etkisi,
- Çalışma ortamının (yağlı, asidik gibi) etkisi vs.

Yapılan deneysel çalışmalarda yukarıda belirtilen faktörlerden, yüzey pürüzlülüğü, yapıştırma kalınlığı ve yapıştırılan malzemenin etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlarında hazırlanan tüm numuneler için yapıştırmanın gerçekleştiği bölgede, darbe sonucu oluşan kopma yüzeyleri incelendiğinde, genel olarak kohezyon hasar tipinin meydana geldiği görülmüştür.

İlgili standartta verilen geometriye sahip numuneler test edilerek, deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün etkisi: Yapılan deneysel çalışmalarda üç farklı yüzey pürüzlülük değerine sahip çelik, alüminyum ve bakır malzemeler kullanılmıştır. En düşük mukavemet değerleri, en az yüzey pürüzlülüğünde ($R_a=0,5\mu m$) bulunmuştur.

Darbe mukavemeti açısından optimum yüzey pürüzlülük aralığı $R_a=1,5-2\mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir.

Küçük pürüzlülük değerlerinde, darbe direnci değerinin düşük değerler bulunmasının nedeni yüzeyin pürüzsüz düz olmasından dolayı kama etkisinin kaybolarak yapıştırıcının tutunacağı yerlerin azalmasıdır. Yüzey pürüzlülüğü gereğinden fazla arttığı zamanda mukavemet değerleri tekrar düşmektedir. Bunun nedeni olarak, aradaki yapıştırıcı kalınlığının kısmen artmış olması ve fazla pürüzlülükten dolayı yapıştırıcının, malzeme yüzeyine tam olarak yayınamadığı (düşük ıslanabilirlik) söylenebilir.

Yapıştırma kalınlığının etkisi: Yapıştırma kalınlığının, yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisi incelenirken, tüm numunelerde $R_a=1,5\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülük değeri için 3 farklı kalınlık değeri (0,1; 0,3; 0,5mm) seçilerek deneyler yapılmıştır.

Deney sonuçlarında yapıştırıcı film tabakası kalınlığı arttıkça bağlantıların, uygulanan darbeye karşı göstermiş olduğu direnç kullanılan malzemeye göre farklılık göstermektedir. Bakır numunelerde yapıştırma kalınlığı 0,3mm iken darbeye karşı göstermiş olduğu direnç, 0,1 ve 0,5mm yapıştırma kalınlıklarına göre daha yüksek değerler çıkmıştır. Alüminyum numunelerde ise yapıştırma kalınlığı arttıkça darbeye karşı gösterilen direnç artmıştır. Genel olarak, 0,3mm yapıştırıcı kalınlığında maksimum darbe direnci elde edildiği söylenebilir.

Yapıştırılan malzemenin etkisi: Yapılan deneysel çalışmalarda malzemenin etkisini tespit edebilmek için çelik, alüminyum ve bakır malzemeler kullanılmıştır. Aynı şartlar altında sadece malzeme değiştirildiğinde darbe direnci değerlerinde önemli değişimler görülmektedir. Bakır numuneler, alüminyum numunelere göre daha yüksek darbe direnci göstermiştir. Bunun nedeni olarak bakırın daha aktif metal olmasından dolayı yapıştırıcı ile daha kuvvetli kimyasal bağlar oluşturduğu söylenebilir.

Yapıştırılan çelik malzemelerin darbe direnci, alüminyum malzemelerin darbe direnci değerinden yaklaşık üç kat fazla çıkmıştır. Bu farklılıkların, malzemelerin yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girme seviyeleri, serbest yüzey enerjileri ve aktiflik - pasiflik durumlarından kaynaklandığı söylenebilir. Alüminyum, pasif bir metal olduğu için yapıştırıcı ile kimyasal olarak daha zayıf bağlar oluşturmaktadır. Bakır alüminyuma nazaran daha aktif bir metal olduğundan, yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girerek

daha kuvvetli bağlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bakır/bakır bağlantısının kopmasında daha çok kohezyon kopması, alüminyum/alüminyum bağlantısında ise adhezyon kopmasının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çelik ve bakır esaslı malzemeler, alüminyum malzemelere göre daha yüksek darbe mukavemeti göstermişlerdir. Çelik ve bakır epoksi ile yapıştırmak için uygun olmakta ancak alüminyum için daha geniş yapıştırma yüzey alanına ihtiyaç duyulmaktadır.

Özet olarak, yapıştırma bağlantılarında yüksek darbe mukavemeti elde edebilmek için, yüzey pürüzlülük değerlerinin $R_a=1,5-2\mu\text{m}$ aralığında olması gerektiği, yapıştırılan malzemenin, darbe dayanımını önemli oranlarda etkilediği, alüminyum malzemelerde yapıştırılan alanın artırılması gerektiği, yapıştırma kalınlığının 0,3mm civarında olması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Adams, R.D. (1989) Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review. *Journal of Adhesion.*, 30: 219-242.
- Adams, R.D., Comyn, J. and Wake, W.C. (1997) Structural Adhesive Joints in Engineering, *Chapman&Hall*, London, 359s.
- Adams, R.D. (2005) Adhesive Bonding, *Woodhead Publishing*, England, 595s.
- Anduret, R.H. (1998) Special 2-D and 3-D geomtrically non-linear finite elements for analysis of adhesively bonded joints., Doktora Tezi, *The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blackburg, Virginia, 135s.
- Apalak, M.K., Güneş, R. and Fidancı, L. (2003) Geometrically Non-Linear Thermal Stress Analysis of an Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint. *Finite Elements in Analysis and Design.*, 39: 155-174.
- Aydın, M.D. (2003) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi., Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 180s.
- ASM (1990) Engineered Materials Handbook, Adhesive and Sealants, *The Materials International Society*, 3: 560
- Baghari, R. and Marouf, B.T. (2007) Fracture Behavior of Multi-Layered Composites Under İmpact Loading. *Materials Science and Engineering.*, 448: 20-24.
- Bezemer, A.A., Guyt, C.B. and Vlot, A. (1998) New Impact Specimen for Adhesives Optimization df High-Speed-Loaded Adhesive Joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives.*, 18: 255-260.
- Ciba (1999) Ciba User's Guide to Adhesive, Surface Preparation and Pretreatment. *Ciba Specalty Chemicals*, Switzerland, 40s.
- George, B., Touyeras, F., Grohens, Y. and Vebrel, J. (1998) Analysis of Curing Mode and Mechanical Properties of an Anaerobic Adhesive. *Eur. Polym. J.*, 34: 399-404.
- Goglio, L. and Rossetto M. (2007) Impact Rupture of Structural Adhesive Joints Under Different Stres Combinations. *International Journal of Impact Engineering.*, In press.
- Higuchi, I., Sawa, T., Okuno, H. and Kato, S. (2003) Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Response in Adhesive Butt Joints Subjected to Impact Bending Moments. *The Journal of Adhesion.*, 79: 1017-1039.
- Higuchi, I., Sawa, T. and Suga, H. (2002) Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joints Subjected to Impact Bending Moments. *J. of Adhesion Sci. Technology.*, 16: 1327-1342.

- Kaya, F. (2004) Ana Hatları ile Yapıştırıcılar, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 318s.
- Kihara, K., Isono, H., Yamabe, H. and Sugibayashi, T. (2003) A Study and Evaluation of The Shear Strength of Adhesive Layers Subjected to Impact Loads, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 23: 253-259.
- Kinloch, A.J. (1987) Adhesion and Adhesives Science and Technology, *Chapman and Hall*, London, 441p.
- Kinloch, A.J. (1997) Adhesives in Engineering, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, s307-335,
- Krenk, S., Jönsson, J. and Hansen, L.P. (1996) Fatigue Analysis and Testing of Adhesive Joints, *Engineering Fracture Mechanics*, 53: 859-872.
- Kwon, J.W. and Lee, D.G. (2000) The Effects of Surface Roughness and Bond Thickness on The Fatigue Life of Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joints, *J. Adhesion Sci. Technology*, 14: 1085–1102.
- Kumar, P., Tiwari, S. and Singh, R.K. (2005) Characterization of Toughened Bonded Interface Against Fracture and Impact Loads, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25: 527-533.
- Lee, S.J., and Lee, D.G. (1996) Development of Fatigue Failure Modal Fort He Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint Under Dynamic Torsional Loading, *Journal of Adhesion*, 56: 157-169.
- Lee, W.S. and Lee, D.G. (1997) Static and Dynamic Torque Characteristics of Composite Cocured Single Lap Joints, *Journal of Composite Materials*, 31: 2188-2201.
- Liu, J. and Sawa, T. (2000) Stress Analysis and Strength Evaluation of Single Lap Band Adhesive of Dissimilar Adherends Subjected to External Bending Moment, *J. of Adhesion Science and Technology*, 14: 67-92.
- Loctite Corporation (1998) Loctite Worldwide Desing Handbook Second Edition, on CD.
- Mazumdar, S.K. and Mallick, P.K. (1998) Static and Fatigue Behaviour Of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites, *Polymer Composites*, 19: 139-146.
- Özel, A., Kadioğlu, F., Sen, S. and Sadeler, R. (2003) Finite Element Analysis of Adhesive Joints in Four Point Bending Load, *Journal of Adhesion*, 79: 683-697.
- Pandey, P.C., Shankaragouda, H. and Singh, A.K. (1999) Non-Linear Analysis of Adhesively Bonded Lap Joints Considering Visco-Plasticity in Adhesives, *Computers and Structures*, 70: 387-413.
- Pfeiffer, P. and Shakal, M. (1998) Effect of Bonded Metal Substrate Area and its Thickness on the Strength and Durability of Adhesively Bonded Joints, *J. of Adhesion Sci. Technology*, 12: 339-348.

- Ramani, K. and Zhao, W. (1997) The Evaluation of Residual Stresses in Thermoplastic Bonding to Metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives.*, 17: 353-357.
- Romanos, G. (1999) Strength Evaluation of Axisymmetric Bonded Joints Using Anaerobic Adhesives, *Int. J. of Materials and Product Technology.*, 14: 430-443.
- Sancaktar, E. and Simmons, S.R. (2000) Optimization of Adhesively Bonded Single Lap Joints by Adherent Notching, *J. of Adhesion Science and Technology.*, 14: 1363-1404.
- Sawa, T., Higuchi, I. and Suga, H. (2002b) Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joints Under Impact Loads, *J. of Adhesion Sci. Technology.*, 16: 1585-1601.
- Sawa, T., Liu, J., Nakano, K. and Tanaka, J. (2000) A Two Dimensional Stress Analysis of Single Lap Adhesive Joints of Dissimilar Adherents Subjected to Tensile Loads, *J. of Adhesion Science and Technolog.*, 14: 43-66.
- Sawa, T. and Uchida, H. (1997) A Two Dimensional Stress Analysis and Strength Evaluation of Hand Adhesive Butt Joints Subjected to Tensile Loads, *J. of Adhesion Science and Technology.*, 11: 811-833.
- Sawa, T., Suzuki, Y. and Kido, S. (2002a) FEM Stress Analysis and Strength of Adhesive Butt Joints of Similar Hollow Cylinder Under Static and Impact Tensile Loadings, *J. of Adhesion Sci. Technology.*, 16: 1449-1468.
- Wang, Y., Blackman, B.R.K., Kinloch, A.J. And Taylor, A.C. (2000) The Impact Wedge-Peel Performance of Structural Adhesives, *Journal of Materials Science.*, 35: 1867-1884.
- WEB_1 (2007). Adhesive application.
<http://www.omnexus4adhesives.com/services/application-gallery.aspx> (15.05.2007)
- WEB_2 (2007). Why is Impact Testing Important?
<http://www.instron.com.tr/wa/products/impact.html> (15.05.2007)
- WEB_3 (2007). Marsurf M 2 properties.
<http://www.mahr.com/index.php?NodeID=2481> (15.05.2007)
- Woldesenbet, E, and Aga, Z.A. (2007) Bond Thickness Effect on Impact Response and Damage of Adhesively-Bonded Graphite/Epoxy Composites, *J. Adhesion Sci. Technology.*, 21: 21-34.
- Wong, C.P., Rao Y. and Lu, D. (2004) A Study of Impact Performance of Conductive Adhesives, *International Journal of Adhesion & Adhesives.*, 24: 449-453.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Murat ÖZENÇ
Doğum Tarihi : 12. 01. 1982
Doğum Yeri : İZMİT
Bitirdiği Lise, Yılı : Pendik Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi, 1999
Bitirdiği Üniversite, Yılı : Pamukkale Üniversitesi Makine
Mühendisliği Bölümü, 2005